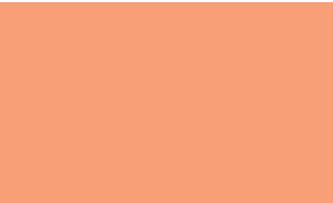




Manual de Cartografía, Teleobservación y Sistemas de Información Geográfica

Miraglia, Marina
Flores, Andrea Pamela
Rivarola y Benitez, Marcela
D'Liberis, Marcela
Galván, Luciana
Natale, Daniela
Rodríguez, Mónica



Laboratorio de Sistemas
de Información Geográfica

Instituto del Conurbano

Manual de Cartografía, Teleobservación y Sistemas de Información Geográfica

Miraglia, Marina
Flores, Andrea Pamela
Rivarola y Benitez, Marcela
D'Liberis, Marcela
Galván, Luciana
Natale, Daniela
Rodríguez, Mónica

Año 2010

Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica
Instituto del Conurbano

Universidad Nacional
de General Sarmiento 

Miraglia, Marina

Manual de cartografía. - 1a ed. - Los Polvorines : Universidad Nacional de General Sarmiento, 2010.
Internet. - (Publicaciones electrónicas)

ISBN 978-987-630-090-2

1. Geografía. 2. Cartografía. I. Título
CDD 526

© Universidad Nacional de General Sarmiento, 2010
J.M. Gutiérrez 1150, Los Polvorines (B1613GSX)
Prov. de Buenos Aires, Argentina
Tel.: (54 11) 4469-7578
publicaciones@ungs.edu.ar
www.ungs.edu.ar/publicaciones

Diseño y Diagramación: Pietruschka, Georg

ISBN: 978-987-630-090-2

Hecho el depósito que marca la Ley 11.723
Prohibida su reproducción total o parcial
Derechos reservados

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
SECCIÓN I	11
LA CARTOGRAFÍA	11
Capítulo 1. Introducción a la cartografía.....	12
1.1. Historia de la Cartografía.....	12
1.1a La cartografía antigua	12
1.1b Período medieval	17
1.1c Período renacentista.....	20
1.1d La cartografía entre los siglos XVII y XIX	23
1.1e La cartografía contemporánea	25
1.2 Conceptos Generales sobre la Tierra	27
1.2.a El Geoide y los Sistemas de referencia.....	28
1.3 Sistemas de Proyecciones Cartográficas	32
1.3a Clasificación de las proyecciones según la deformación o mantenimiento de las propiedades geométricas.....	32
1.3b Clasificación de las proyecciones según la figura geométrica donde se proyecte	33
1.3c Clasificación de las proyecciones según el plano de proyección	34
1.3d Clasificación de las proyecciones según el punto de vista	34
1.3e Proyecciones más utilizadas	36
1.4 Sistema de Coordenadas Geográficas.....	48
1.4a Definición	48
1.4b Latitud y Longitud	49
1.5 Sistema de Coordenadas Planas	50
1.5a Definición	50
1.6 Generalidades de Cartografía	51
1.6a Mapas	51
1.6b Cartas.....	56
1.7 Clasificación cartográfica	59

Capítulo 2. Planimetría y Altibatimetría	64
2.1 Planimetría.....	64
2.1 a Método de cuadrículas para la estimación de superficies.....	66
2.2 Altibatimetría.....	67
2.2a Sistema de curvas de nivel y puntos acotados	68
2.2b Secciones y perfiles	72
2.2c Algunas aplicaciones de las cartas topográficas	73
Capítulo 3. Cartografía Temática	76
3.1 Generalidades.....	76
3.2 Mapa base y mapas temáticos	77
3.2a Mapa base.....	77
3.2b Mapas temáticos	78
3.3 Teorías de Representación	78
3.3 a Componentes de cualificación.....	78
3.3 b Variables visuales	80
3.3c Figuras cartográficas: cartograma, cartodiagrama, anamorfosis geográficas..	86
3.3 d Límites de percepción.....	88
3.4 Cualidades de un buen mapa	88
3.4a Precisión, expresión, legibilidad y eficacia	88
3.4b Leyendas y título	89
3.4c Rótulos e información adicional.....	89
3.4d Elevación.....	90
3.5 Signos cartográficos del Instituto Geográfico Nacional (IGN)	90
SECCIÓN II	93
LA TELEOBSERVACIÓN	93
Capítulo 1. El espectro electromagnético.....	94
Capítulo 2. La teleobservación y los sensores remotos	99
2.1 Los sensores remotos	99
2.1a Generalidades	99
2.1b Tipos de sensores	100
2.2 Los satélites	100

2.2a Generalidades	100
2.2b Satélites de recursos naturales	105
2.2c Satélites meteorológicos	125
2.3 Los radares	134
2.4 Historia de los sensores remotos y la teleobservación.....	137
Capítulo 3. Las fotografías aéreas	140
3.1. Generalidades.....	140
3.2 Exageración vertical del relieve	145
3.3 Clasificación de las cámaras aéreas.....	146
3.4 Algunos patrones de interpretación de fotografías aéreas.....	147
3.5 Interpretación de rasgos estructurales del paisaje.....	147
3.6 Interpretación de suelos.....	151
Capítulo 4. Las imágenes satelitarias	152
4.1 Generalidades.....	152
Capítulo 5. La interpretación visual de fotografías aéreas e imágenes satelitarias..	154
5.1 Instrumentos para la fotointerpretación.....	154
5.2 Visión estereoscópica	155
5.3 Patrones de interpretación.....	155
Capítulo 6. El procesamiento digital de fotografías aéreas e imágenes satelitarias.	158
6.1 Objetivos del procesamiento digital.....	158
6.2 Ventajas de la interpretación digital	158
Capítulo 7. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	159
ANEXO	165
SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE USOS DEL SUELO	165
1. CORINE LAND COVER.....	166
2. SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS	170
SECCIÓN III	173
LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	173
Capítulo 1. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica.....	174
1.1. Conceptos generales.....	174
1.2. Principales características de un Sistema de Información Geográfica	175

Capítulo 2. Los Sistemas de Información Geográfica	176
2.1. La información geográfica.....	176
2.1a Escalas de representación	178
2.1b Componentes de la información geográfica	179
2.2. Elementos que componen un Sistema de Información Geográfica	180
2.3. Funciones de un Sistema de Información Geográfica	182
Capítulo 3. Modelos de representación de los Sistemas de Información Geográfica	182
3.1 Los Sistemas de Información Geográfica Raster.....	184
3.2. Los Sistemas de Información Geográfica Vectoriales	185
3.3 Modelo orientado a objetos.....	185
Capítulo 4. Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica.....	186
4.1. Análisis Espacial.....	187
4.2 Consulta Espacial	188
Capítulo 5. Algunos desarrollos recientes en software libre de Sistemas de Información Geográfica	189
5.1 Visualizadores de información geográfica.....	189
5.2 Editores de información geográfica	190
5.2a Programas libres	191
Capítulo 6: Infraestructuras de Datos Espaciales	196
ANEXO	201
ESTRUCTURA DE REPRESENTACIÓN DE DATOS GEOESPACIALES. DATOS PROVINCIALES, REGIONALES Y LOCALES (SUJETO A LA INCORPORACIÓN DE INFORMACIÓN A CADA UNA DE LAS ESCALAS)	201
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	209

INTRODUCCIÓN

El manual fue elaborado por investigadores docentes y becarias del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Instituto del Conurbano de la Universidad Nacional de General Sarmiento. El objetivo principal es el de introducir, tanto a los estudiantes que cursan la materia "Cartografía, Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica", como a estudiantes en general e investigadores, los conceptos fundamentales de estos tres campos del conocimiento geográfico.

Con este manual deseamos contribuir en la actualización de algunos conceptos básicos de estos tres campos del conocimiento, muchos de los cuales han sido y son desarrollados por expertos y estudiosos en la materia.

La recopilación y sistematización realizada por el equipo es el resultado de las continuas búsquedas de material bibliográfico sobre conceptos de cartografía, la teleobservación y los sistemas de información geográfica. Es decir, el manual introduce los conceptos básicos en el marco de una materia de grado y se complementa con horas de práctica con software específico para cada campo, a fin de que los estudiantes apliquen los conocimientos abordados en problemática territoriales.

En el manual se describen los principios históricos, funcionales y aplicaciones básicas de la cartografía, la teleobservación y los sistemas de información geográfica (SIG). El mismo está estructurado en Secciones y subdividido en Capítulos.

La Sección I presenta un resumen de la historia de la cartografía, conceptos generales sobre la Tierra, proyecciones cartográficas, Altimetría, Planimetría, Cartografía Temática y Digital.

La Sección II presenta nociones básicas sobre la teleobservación, el

espectro electromagnético, los sensores remotos, las plataformas, los satélites de recursos naturales y meteorológicos, así como las fotografías aéreas, las imágenes satelitarias, sus patrones de interpretación visual y digital y las principales aplicaciones.

Finalmente, en la Sección III se presenta una introducción a los SIG, con un resumen de su historia, los elementos constitutivos, sus aplicaciones, los SIGs raster y vectoriales, y los softwares libres y restringidos que permiten operar con las capas de información. Aquí se describen sintéticamente algunos ejemplos de aplicaciones libres y sus potencialidades.

Cabe destacar que, en relación a las aplicaciones de programas restringidos tales como el ArcView y Erdas, el equipo del LabSIG ha publicado dos manuales para usuarios principiantes con operaciones básicas para su manejo.

SECCIÓN I

LA CARTOGRAFÍA

Capítulo 1. Introducción a la cartografía

1.1. Historia de la Cartografía

Para el hombre, siempre fue necesario dejar registro de sus pasos sobre la tierra. Por ejemplo, la importancia que tenía para los romanos (grandes estrategias militares y políticos) identificar claramente los caminos internos del Imperio; la aplicación de las cartas portulanas en la navegación marítima; etc. De esta forma, el hombre siempre utilizó las herramientas que tenía a su alcance para representar el territorio que recorría. La cartografía no siempre tuvo bases científicas, pero respondía a las necesidades socio-económicas y político-estratégicas propias de cada época histórica.

En este capítulo se realizara una reseña sobre la historia de la cartografía, desde la antigüedad hasta el presente. A fin de organizarla del modo más riguroso posible, se puede dividir la presentación en los siguientes períodos:

1.1a La cartografía antigua

- La cartografía en Grecia
- La cartografía en Roma

1.1b Período medieval

- La cartografía árabe
- Los portulanos

1.1c Período renacentista

- La cartografía en Europa
- La cartografía del nuevo continente

1.1d La cartografía entre los siglos XVII y XIX

1.1e La cartografía contemporánea

1.1a La cartografía antigua

Es importante destacar que, ya en este período, la cartografía contenía nociones de la cartografía moderna: *la esfericidad de la Tierra, la*

determinación astronómica de las coordenadas geográficas, y los sistemas de proyección, entre otras. Si bien presentaba errores metodológicos, constituyó un gran avance en la representación del mundo conocido hasta entonces.

Las pinturas rupestres podrían ser los primeros antecedentes de la cartografía, sin embargo, los mapas más antiguos que se conocen son unas tablillas babilónicas. En la *figura 1* se presenta un mapa de la época babilónica, datado alrededor del año 500 a.C.

Figura 1. Mapa babilónico



Fuente: Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos

En China, se encontraron mapas que databan del siglo II a.C, realizados sobre seda, conteniendo información sobre la topografía y aspectos militares de interés del territorio cartografiado para los ejércitos imperiales (Fig. 2)

Figura 2. Mapa encontrado en China que data del siglo II a.C.



Fuente: Robinson, et al 1987

Los mapas eran precisos, con la escala y el simbolismo gráfico bien definidos. “Las calidades científica, tecnológica y artística de los mapas”¹(Robinson, A. *et al*, 1987) hicieron que se considerara a la cartografía oriental china como un antecesor de la cartografía moderna. Los chinos utilizaban una cuadrícula especial sobre la superficie del mapa para la reproducción fiel de las características del terreno.

Hasta el siglo XVII, en que comenzaron a hacerse sentir las influencias occidentales en China a través de los movimientos militares, la cartografía china y oriental se encontraba más avanzada que la occidental. A partir de entonces, cuando el intercambio entre ambas culturas comenzó a hacerse más fluido, prácticamente no se encontraron grandes diferencias entre ambos productos cartográficos.

La cartografía en Grecia

Para los historiadores y los estudiosos de la cartografía, los primeros mapas con fundamento científico fueron elaborados en Grecia y se basaban en la reproducción, lo más fiel posible, de las informaciones aportadas

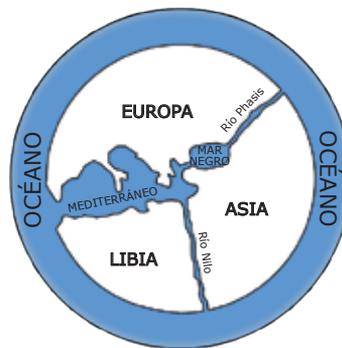
¹ Robinson, A. *et al*, 1987. Elementos de cartografía. Ediciones Omega, Barcelona, España

por viajeros y navegantes.

Tal como lo indicaban los documentos escritos, fueron los pensadores griegos quienes desarrollaron los primeros cálculos matemáticos y astronómicos de geografía y cartografía. Así se relativizaron las creencias subjetivas y los mitos populares, reemplazándolos por afirmaciones científicamente comprobables.

Según **Tales de Mileto** (siglo VII-VI a.C.) la Tierra era un disco plano que flotaba y estaba rodeado de agua. A comienzos del siglo IV a.C. **Pitágoras** apoyó esta afirmación con razonamientos astronómicos y matemáticos, considerando a la Tierra como un globo que giraba junto a otros planetas alrededor de un fuego central (Microsoft Encarta, 2007). En la *figura 3* se puede observar la apariencia probable del primer mapa del mundo (según una adaptación de la obra realizada por Anaximandro y Hecateo).

Figura 3. Apariencia probable del primer mapa del mundo.



Fuente: Microsoft ® Encarta ® 2007. © 1993-2006. Microsoft Corporation

Aristóteles (siglo IV a.C.) fue uno de los primeros científicos que midió el ángulo de inclinación de la Tierra, lo que le permitió deducir su esfericidad y la existencia de zonas tropicales y casquetes polares. Hiparco (siglo II a.C.), estableció los procedimientos matemáticos necesarios para trasladar los puntos de la superficie esférica a un plano, realizando así la primera proyección cartográfica. Más tarde, elaboró un catálogo de

estrellas, utilizado en navegación marítima.

Eratóstenes de Cirene (275-194 a.C) midió la circunferencia de la Tierra a través de cálculos trigonométricos y astronómicos. Sus cálculos se basaron en la observación que hizo en Siena (cerca del trópico de Cáncer): a mediodía, en el solsticio de verano, los rayos del sol incidían perpendicularmente sobre la tierra, no proyectando ninguna sombra. Al conocer la distancia entre Siena y Alejandría pudo hallar la distancia al Sol y la circunferencia de la Tierra (Microsoft Encarta, 2007). Claudio Ptolomeo en el siglo II d.C. planteó un modelo geocéntrico del Universo: la Tierra inmóvil en el centro, y los cuerpos girando alrededor.

Figura 4. Modelo del Universo elaborado por Ptolomeo



Fuente: Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos

La cartografía en Roma

Los romanos se interesaron mucho más en la cartografía terrestre que en la marítima, por lo que tenían un inventario cartográfico muy completo de los caminos y parajes del Imperio Romano, como por ejemplo el denominado Comentariorum, del cual no se guardan copias. Su cartografía era militar y catastral, así como toponímica. Tenían itinerarios, mapas de

caminos y planos, casi todos desaparecidos.

1.1b Período medieval

Durante este período, las representaciones cartográficas no tenían base científica. El retroceso cultural que se produjo en Europa durante la Edad Media llevó a que se considerara a la Tierra como un disco flotando en el océano. La geografía matemática fue sustituida por el dogma religioso. Se publicó por ese entonces un mapamundi circular o mapa de "T en O", que representaba el mundo como un disco rodeado por un océano circular (la "O") y dividido en tres partes en forma de "T" como la Trinidad (*Fig. 5*).

Figura 5. Mapa medieval de "T en O", de Isidoro de Sevilla.



Fuente: <http://www.artehistoria.jcyl.es/historia/obras/9778.htm>. Accedido el 16/6/2009

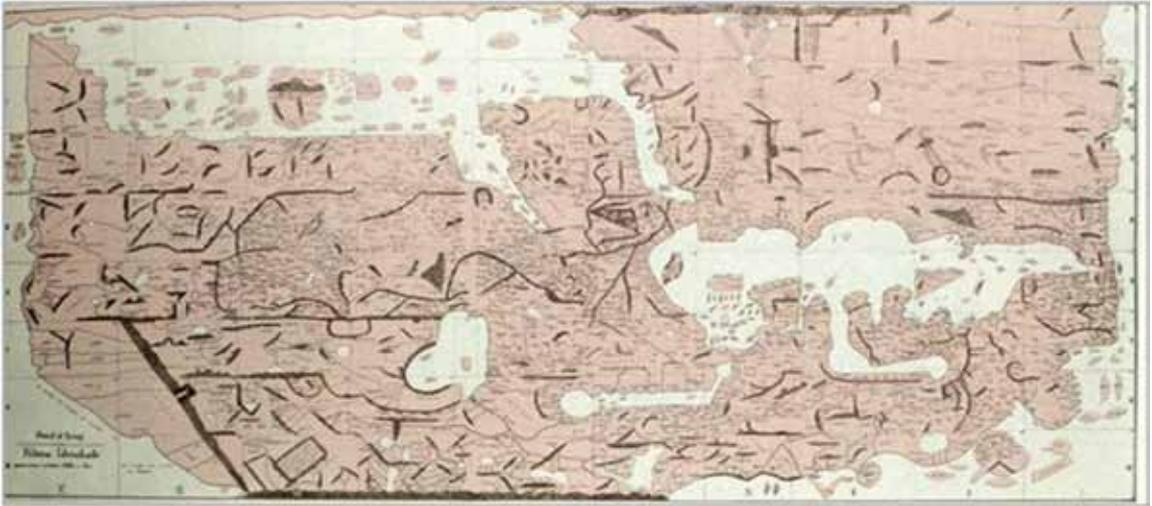
La cartografía árabe

La cultura árabe se convirtió durante la Edad Media en la continuadora del desarrollo científico interrumpido en Europa.

La obra mayor de Abdullah Ibn Idrisi (al EDRISI) fue la Tabula Rogerina (1154), una placa donde era reproducido el mediterráneo medieval, acompañada por un libro de 70 hojas y un pequeño mapamundi mediterráneo con explicaciones muy detalladas y dibujos de rutas por Europa

Occidental, Escandinavia, el Mediterráneo, el Sahara, la India y China.

Figura 6. Tabula Rogerina



Fuente: Robinson, et al. 1987

Hacia los siglos XII y XIII comenzaron a encontrarse en Constantinopla las primeras traducciones griegas de la Geografía de Ptolomeo. La *Figura 7* muestra un mapamundi realizado según una proyección del tipo cónica

Figura 7. Mapa de Ptolomeo (siglo II d.C.)



Fuente: Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos

A partir del siglo XV aparecieron nuevos mapas basados en la obra de Ptolomeo, donde se añadieron nuevos territorios. *La Figura 8* muestra la versión que realizó Nicolo Germano del mapa elaborado por el geógrafo Clavus, que se publicó en Ulm en 1482, en el que se añadió la península de Escandinavia.

Figura 8. Mapa de Ptolomeo. Edición de Ulm de 1482.

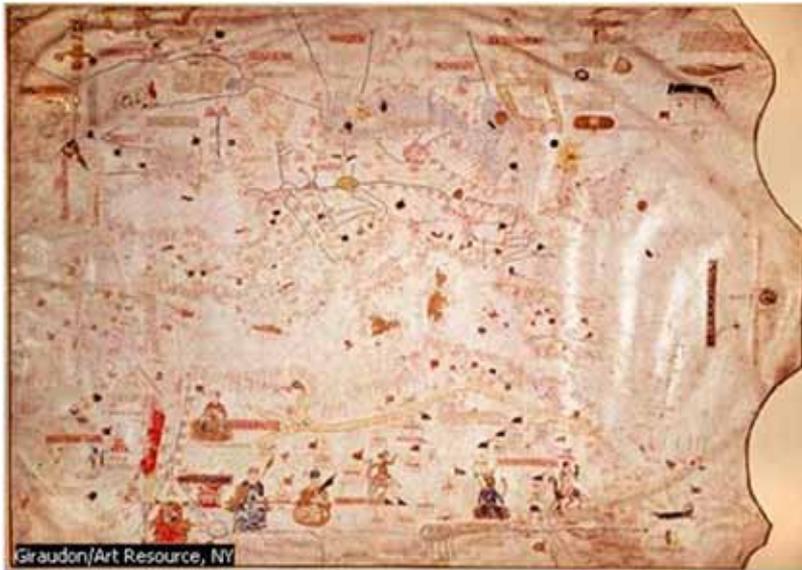


Fuente: Microsoft ® Encarta ® 2007. © 1993-2006 Microsoft Corporation.

Los portulanos

Hacia el siglo XIV comenzaron a difundirse los portulanos, los cuales eran cartas de navegación marítima y oceánica. Entre ellos, se destacaron los de las escuelas italiana, catalana, portuguesa, veneciana, francesa y principalmente mallorquina. La figura 9 presenta una carta elaborada por Angelino Dulcert (1339), principal exponente de la época, que representaba Europa y el litoral del norte de África.

Figura 9. Portulano catalán incluido en el Atlas de Carlos V, realizado por Mecia de Villadate en el año 1413.



Fuente: Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos

1.1c Período renacentista

La cartografía en Europa

Entre 1405 y 1410 Jacobus Angelus tradujo al latín la Geografía de Ptolomeo, que había sido conservada por los científicos árabes. Así, reintrodujo la idea de la esfericidad de la Tierra. Durante la segunda mitad del siglo XV los navegantes portugueses, españoles, franceses, ingleses e italianos revelaron la existencia de nuevos territorios que fueron agregándose en los mapas.

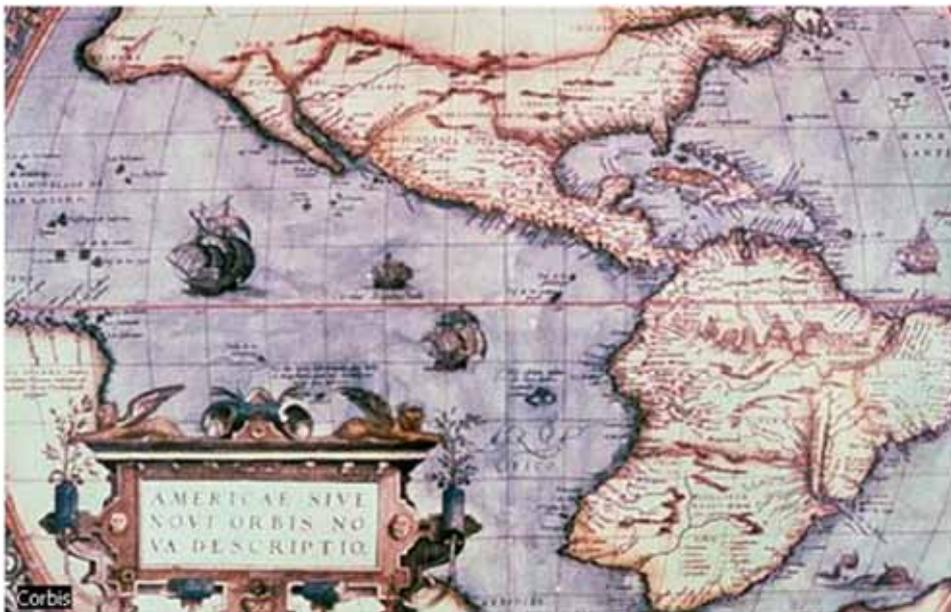
Los cartógrafos más reconocidos del siglo XVI eran técnicos y científicos que habían recibido formación matemática.

El geógrafo y cartógrafo de origen germano-holandés Gerhardus Mercator (1512 - 1594) realizó trabajos para el emperador Carlos V. En un mapamundi del año 1569 utilizó el sistema de proyección geográfica que más tarde se bautizó con su nombre. Se trata de una representación cilíndrica con meridianos rectos y paralelos y líneas de latitud equidistantes. En este mapamundi, los paralelos son rectas paralelas al eje de las

abscisas, estando el ecuador representado por dicho eje; y los meridianos son rectas paralelas al eje de las ordenadas, estando el meridiano origen representado por dicho eje; los polos no son representables en el mapa. El primer año después de la muerte de Mercator se publicó su libro de mapas del mundo, al que había denominado Atlas, en honor al gigante la mitología griega que sostenía la bóveda celeste.

Abraham Ortelius, un cartógrafo flamenco, publicó en 1570 el primer atlas moderno, *Theatrum Orbis Terrarum*. Su primera versión contenía 70 mapas (56 de Europa, 10 de Asia y África y uno de cada continente). En 1575 Ortelius fue nombrado geógrafo de Felipe II, un cargo que le permitió acceder a los conocimientos proporcionados por los exploradores portugueses y españoles.

Figura 10. Theatrum orbis terrarum, de Abraham Ortelius



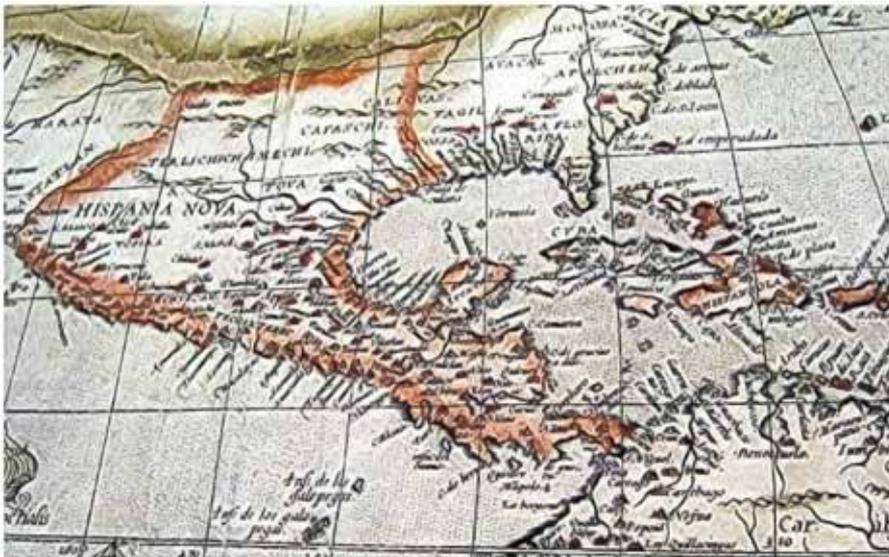
Fuente: Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos

La cartografía en el nuevo continente

En México, los colonizadores encontraron una cartografía muy adelantada. Los jefes indígenas, según Hernán Cortés, tenían cartas geográficas

elaboradas en papeles vegetales, sobre los cuales se dibujaba con colores vegetales. Estos mapas reproducían itinerarios y zonas específicas. Es probable que los españoles hubieran agregado a los mapas indígenas notas en español, sustituyendo la huella del pie por una herradura para indicar los caminos transitables a caballo, se agregaron templos católicos (con cruces) y posteriormente ideogramas que simbolizaban fuentes, canales y acueductos.

Figura 11. Mapa de Nueva España



Fuente: <http://www.motecuhzoma.de/karten.html>. Accesado el 18/06/2009

En la época del descubrimiento de América se destacaron Diego Méndez, Juan de la Cosa, Pedro y Jorge Reinel, Sebastiano Caboto y Américo Vesputio. Los viajes de los venecianos y genoveses al interior de África y los de los portugueses y españoles por sus costas y, posteriormente, las del continente americano, dieron un gran impulso a la cartografía.

Figura 12. Mapa del Nuevo Mundo realizado en 1596



Fuente: Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos

En el mapa de la figura 12 aparecen las tierras americanas con las imágenes de: Cristóbal Colón (arriba izquierda), Américo Vesputio (arriba derecha), Fernando de Magallanes (abajo izquierda) y Pizarro (abajo derecha). Fue realizado por Theodore de Bry y Girolamo Benzon.i

1.1d La cartografía entre los siglos XVII y XIX

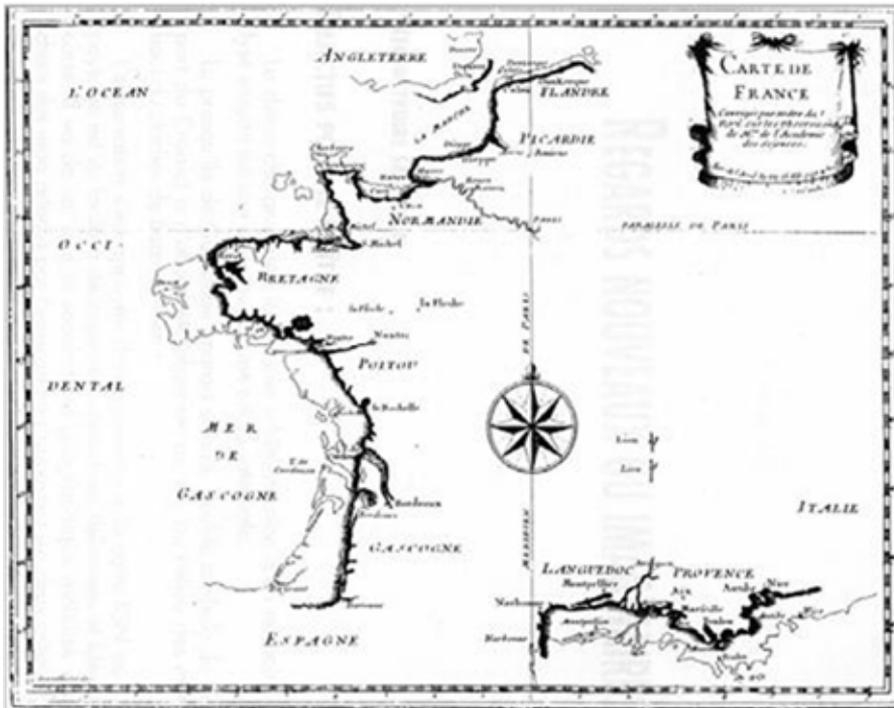
El sistema heliocéntrico, postulado por Nicolás Copérnico (1473-1543), perfeccionado por Kepler (1571-1630) y por Galileo (1564-1642), fue reemplazando las teorías geocéntricas de Ptolomeo.

Se conocían los diferentes sistemas de proyección y sus construcciones geométricas. Para corregir las inconsistencias métricas, fue necesario multiplicar las observaciones astronómicas de longitud y latitud.

En Francia, Guillermo Delisle (1675-1726) y Bourgignon d'Anville (1697-1782) elaboraron atlas universales.

Durante el siglo XVII se produjo un gran desarrollo científico y técnico. A modo de ejemplo, el proceso de triangulación desarrollado por G. Frisius y T. Brahe, el cual en 1669 permitió que Jean Dominique Cassini y Jean Picard completaran el mapa topográfico de Francia. Los trabajos cartográficos se desarrollaron en las academias de ciencia (Fig. 13).

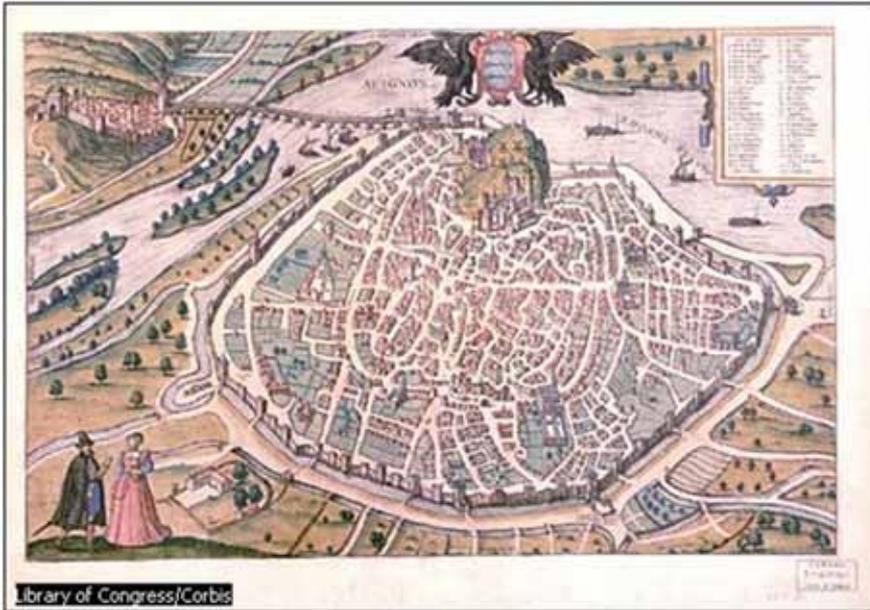
Figura 13. Mapa realizado en 1693 por La Hire, que aparece en la Memoria de la Academia de Ciencias Francesa de 1729.



Fuente: Robinson, et al 1987

El geógrafo francés Guillermo Delisle (1675-1726) publicó en 1700 un mapamundi que localizaba, con dimensiones correctas, las regiones orientales del antiguo continente. La Academia de las Ciencias de Francia desarrolló la geografía astronómica y matemática enviando viajeros y comisiones científicas a diferentes partes del Globo.

Durante todo el siglo XVII, el objetivo principal de los trabajos cartográficos a gran escala fue militar. Las autoridades eclesiásticas de la época habían solicitado a los cartógrafos que realizaran planos con la ubicación de las parroquias. Los mapas mostraban los lugares donde se situaban las ciudades, ríos, costas y fronteras. (Figura 14)

Figura 14. Plano de Aviñón en el siglo XVII

Fuente: Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos

El plano urbano de esta ciudad francesa es irregular, típico de la época medieval. Los edificios y las calles se concentran junto al centro religioso, mientras que en las afueras de la fortaleza predominaban los caseríos y los cultivos.

Desde finales del siglo XVII, lo que caracterizaba a la cartografía regional era la introducción de las nociones geodésicas y topográficas.

Recién a mediados del siglo XVIII se confeccionó el primer mapa geométrico de Francia, conocido como mapa de Cassini, del Observatorio o de la Academia. Los levantamientos topográficos resultaron muy valiosos, pero la representación del relieve carecía de curvas de nivel.

1.1e La cartografía contemporánea

Hasta el siglo XIX, cada país establecía sus propias escalas para representar la cartografía. Sin embargo, en 1799 se desarrolló el primer archivo sobre las normas de representación del metro y el kilogramo en París. En 1860, luego de numerosas mediciones absolutas de campos

magnéticos en unidades mecánicas como longitudes, masa y tiempo, se acordó consensuar un sistema coherente de unidades.

En 1889 la 1ª Conferencia de Pesos y Medidas (CGPM) determinó los prototipos internacionales para el metro y el kilogramo. Junto con el segundo astronómico como unidad de tiempo, estas unidades constituyen las variables de un sistema tridimensional basado en las unidades de metro, kilogramo, y segundo, el MKS.

En 1939, el Comité Consultivo de Electricidad (hoy CCEM) adoptó un sistema de cuatro dimensiones basado en el metro, kilogramo, segundo y el amperio, el denominado sistema MKSA. La propuesta fue aprobada por el Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM) en 1946. En 1960, se le denominó como Sistema Internacional de Unidades (SI) y en 1974, luego de debates entre físicos y químicos, se incorporó al mol como séptima unidad básica.²

La introducción de procedimientos modernos de investigación, como la documentación estadística, la fotografía aérea, o actualmente la informática, así como los progresos conseguidos en la expresión gráfica y en la impresión, han contribuido al avance de la cartografía temática tanto como al de la topográfica. Desde sus orígenes, netamente cualitativos, ha llegado a ser cuantitativa y comparativa, conociendo un impulso sin precedentes durante el siglo XX, sobre todo desde los años 1920-1930 con la aparición de atlas temáticos nacionales y regionales.

Por otro lado, el desarrollo de la aviación militar y civil, el lanzamiento de los satélites de recursos naturales y meteorológicos, las técnicas informáticas, etc. han estimulado la expansión de los productos cartográficos. Las nuevas tecnologías diversificaron los métodos de investigación y de representación de resultados.

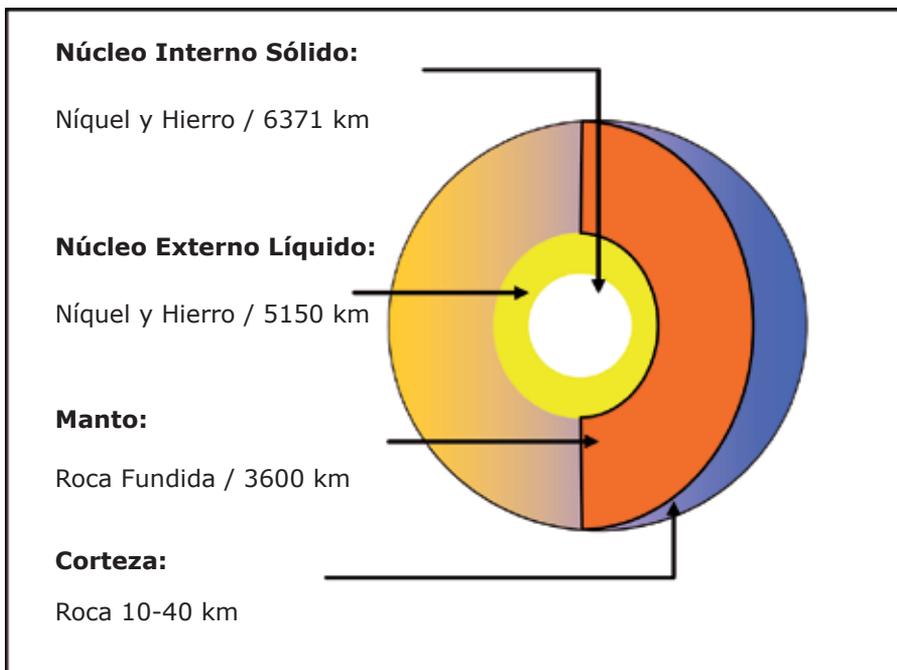
2 Las unidades básicas de medición son: Metro, Gramo, Segundo, Amperio, Kelvin, Candela y Mol. (<http://www.bipm.org/en/si/history-si/>)

1.2 Conceptos Generales sobre la Tierra

La Tierra tiene una forma parecida a una esfera o a un elipsoide de rotación. Su denominación formal y teórica es la de "geoide de revolución compleja". Es el tercer planeta a partir del Sol y el quinto más grande del sistema solar. Gira a una distancia de 149.600.000 km del sol (1 unidad astronómica) y tarda en dar la vuelta alrededor del mismo 365.256 días. Su diámetro es de 12.756 km y gira sobre su eje una vez cada 23 horas, 56 minutos y 4,1 segundos. Su superficie está cubierta en un 70% de agua líquida. La atmósfera que la envuelve se compone principalmente de nitrógeno (76%) y oxígeno (21%).

El hierro líquido que envuelve el núcleo terrestre genera un fuerte campo magnético, la datación radiométrica del metal indica que su edad es de 4.650 millones de años. La figura 15 presenta una sección de la Tierra con los componentes de su interior.

Figura 15. Componentes del interior de la esfera terrestre



Fuente: elaboración propia en base a datos consignados por Planetario de la Ciudad de Buenos Aires.

1.2.a El Geoide y los Sistemas de referencia

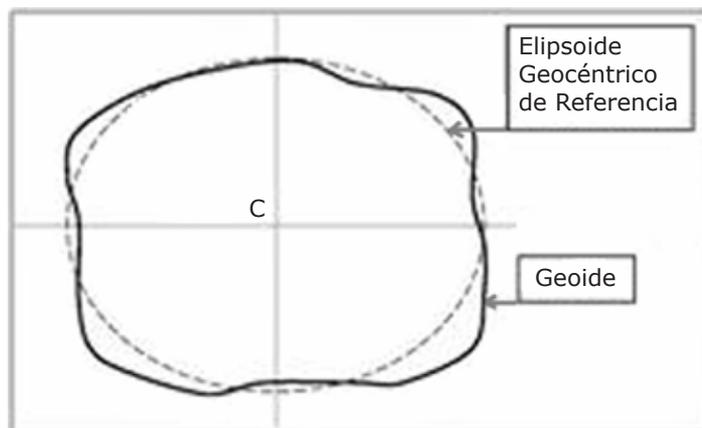
El reto de la geodesia es lograr un sistema de proyección por medio del cual se pueda representar un punto o un área situado en la Tierra con la menor deformación posible.

El geoide es la superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre coincidente con la superficie media de los mares en reposo. Desde el punto de vista técnico es preferible reemplazarlo por una superficie regular donde la dirección de la gravedad sea perpendicular en todos los lugares. Esa superficie se denomina elipsoide de rotación y debido al movimiento de la Tierra se produce un achatamiento sobre el eje menor, es decir, la zona polar.

El elipsoide, como superficie de referencia altimétrica, es impracticable para muchas tareas, pero es imprescindible como superficie de referencia planimétrica para las coordenadas geográficas: latitud y longitud. Por ello, los elipsoides de referencia usados en el mundo son conocidos como "Datum" Planimétrico, y pueden ser geocéntricos o no.

En la figura 16 se presenta un esquema del geoide y un elipsoide geocéntrico de referencia.

Figura 16: Esquema del geoide y el elipsoide.



Fuente: Pallejá, E; 1997.

Los sistemas geodésicos locales quedan definidos por la elección de un

elipsoide de referencia y por un punto de origen llamado datum donde se establece su ubicación en relación con la forma física de la Tierra, es decir, el geoide (Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, 1999).

Cada región decide establecer un sistema de referencia local cuyo ámbito de aplicación es reducido. Los parámetros que definen un sistema geodésico local son:

- El factor de achatamiento ($f = [a - b]/a$)
- Las coordenadas latitud y longitud para localizar el datum
- Un acimut de origen en el punto datum a fin de orientar el elipsoide.

Los sistemas geodésicos locales se materializan mediante redes de triangulación de diversos órdenes, cuyos vértices se denominan puntos trigonométricos. Sin embargo, como no son tridimensionales, las cotas altimétricas deben ser resueltas por otros métodos.

Los sistemas geocéntricos son aquellos que definen sus puntos de origen cartesiano X, Y, Z en el centro de masa de la Tierra. Es decir, el sistema gira en conjunto con la Tierra y a diferencia de los sistemas de referencia locales, son tridimensionales.

En los sistemas geocéntricos los puntos se toman con GPS (Sistemas de Posicionamiento Global) y se vinculan a redes de puntos anteriores.

Actualmente, se desarrolla la transición de los sistemas locales a los sistemas geocéntricos. En nuestro país ello implica el paso del sistema Campo Inchauspe al marco de referencia POSGAR y sistemas de referencia WGS 84 e ITRF.

Campo Inchauspe

Hacia 1954, en Argentina se desarrolló un marco de referencia local conocido como Campo Inchauspe. El datum se ubica cerca de la intersección del meridiano -62 y el paralelo -36, próximo a la ciudad de Pehuajó en la Provincia de Buenos Aires. Los doctores Guillermo Schulz y Guillermo Riggi O'Dwyer le asignaron las siguientes características al punto datum: Coordenadas elipsóidicas, latitud y longitud y acimut, iguales a las

astronómicas y tangencia entre el elipsoide y el geoide, con una ondulación nula.

El sistema fue adoptado oficialmente mediante Disposición Permanente Nº 440 (30 de noviembre de 1946) del Instituto Geográfico Militar (IGM)³. El elipsoide asociado fue el Internacional de 1924 ($a=6378388$; $1/f=297$) adoptado por la Argentina al igual que la proyección Gauss-Krüger, mediante Disposición Permanente 197 (24 de abril de 1925) del IGM. En 1969 las redes de triangulación completaban 19 polígonos cerrados y constituyó la primera red de envergadura ejecutada en el país.

Antes de definirse el Campo Inchauspe como el sistema nacional existieron otras redes que cubrían regiones específicas y acotadas desarrolladas tanto por el IGM como por otros organismos como el Servicio de Hidrografía Naval, Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF) y la Comisión Nacional de Límites Internacionales (CONALI).

WGS 84

El sistema de referencia World Geodetic System 1984 (WGS 84) fue desarrollado por la Agencia de Mapeo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América junto con el Sistema de Posicionamiento Global. Constituye un Sistema geocéntrico fijado a la Tierra de ejes x , y , z y un sistema de referencia para la forma de la Tierra (elipsoide) y un modelo gravitacional (GEOIDE).

El WGS 84 es un sistema Convencional Terrestre tal que:

- El origen de coordenadas x , y , z es el centro de masa de la Tierra
- El eje z pasa por el polo convencional terrestre (Bureau Internacional de la Hora, 1984)
- El eje x es la intersección entre el meridiano origen de longitudes y el plano del Ecuador (Bureau Internacional de la Hora, 1984)
- El eje Y completa una terna derecha de eje fijos a la Tierra, está en el Ecuador a 90° al este del eje x

³ Por Decreto 554/2009 de la Presidencia de la Nación, publicado en el boletín oficial 31.665, se ha cambiado la denominación del Instituto Geográfico Militar (IGM) a Instituto Geográfico Nacional (IGN) a partir del 18 de mayo del año 2009.

- El origen de la terna sirve de centro geométrico del elipsoide WGS 84 y el eje z es su eje de revolución
- El semieje mayor (a) del elipsoide 1984 mide 6378137 metros
- El achatamiento es $1/298.257223563$

POSGAR

En el marco del proyecto internacional "Central Andes Project" (CAP), se propuso medir con GPS (Sección II, Capítulo 7. Sistema de Posicionamiento Global, GPS) la geodinámica de los Andes Centrales mediante una red de puntos de control de muy alta precisión. A cambio del apoyo logístico para la toma de medidas, se ofrecieron y distribuyeron receptores que constituyeron la red de Posiciones Geodésicas Argentinas (POSGAR).

Actualmente, el objetivo de los organismos nacionales es consolidar un marco de referencia preciso para las aplicaciones desarrolladas y lo más cercano posible al sistema global WGS84, utilizado por el GPS.

Asimismo, el crecimiento del uso del sistema GPS y la modernización de los programas para el procesamiento de datos permitió disponer de las coordenadas que dieron lugar al actual marco de referencia POSGAR94 a comienzos de 1995. Hacia mayo de 1997, mediante la Resolución 13/97, el IGM adoptó el marco de referencia POSGAR 94 como la materialización del sistema de referencia nacional que a su vez materializa el Sistema Geodésico mundial WGS84 en el país.

Con vistas a integrar el Sistema de Referencia geocéntrico para América del Sur (SIRGAS, 1993) y con la propuesta de definir el Datum Geocéntrico Sudamericano, se iniciaron los recálculos de la red POSGAR, ajustando a los parámetros establecidos por SIRGAS.

El nuevo POSGAR constituye un refinamiento a la exactitud de POSGAR94. La vinculación con SIRGAS asegurará un posicionamiento geocéntrico con una exactitud de pocos centímetros y un nuevo cálculo de las observaciones que brindarán una mayor precisión relativa.

Para obtener más información sobre el "Marco de Referencia Geodésico

Nacional” se recomienda ingresar al sitio web del IGM.⁴

1.3 Sistemas de Proyecciones Cartográficas

Los métodos matemáticos para representar la Tierra en un plano consisten en transformar las coordenadas geográficas en coordenadas planas. Este procedimiento conocido como proyección cartográfica transforma matemáticamente los vectores del elipsoide, de tres dimensiones, a planos bidimensionales.

Todo punto del espacio geográfico tiene un sistema de referencias fijas (coordenadas terrestres) que definen su ubicación. Es decir que, así como cualquier punto de la esfera está definido por coordenadas geográficas (longitud y latitud), cualquier punto del plano lo está por sus coordenadas cartesianas (x,y).

Por lo tanto, habrá infinitas relaciones que vinculen ambas coordenadas y cada una de dichas relaciones será un “Sistema de Proyección Cartográfico”.

Existen diversos tipos de proyecciones:

- según la deformación que se produzca en el pasaje de la esfera al plano.
- según la figura geométrica donde se proyecte.
- según el plano de proyección, o según el punto de vista.

1.3a Clasificación de las proyecciones según la deformación o mantenimiento de las propiedades geométricas

Conformes: son las que mantienen la forma de los objetos; cuando un mapa mantiene los ángulos que forman dos líneas en la superficie terrestre. Para que sea conforme, los meridianos y los paralelos en el mapa se tienen que cortar en ángulo recto y la escala debe ser la misma en todas las direcciones alrededor de un punto.

Equivalentes: son aquellas que mantienen las superficies, es decir,

⁴ <http://www.igm.gov.ar/proyectos/posgar2007/introduccion>

cuando una determinada área en el plano de proyección tiene la misma superficie que en la esfera. La equivalencia no se puede obtener sin deformar los ángulos originales. Por lo cual, las proyecciones equivalentes no pueden ser a la vez conformes.

Equidistantes: son las que conservan las distancias entre dos puntos situados sobre la superficie de la Tierra, a lo largo de cada meridiano.

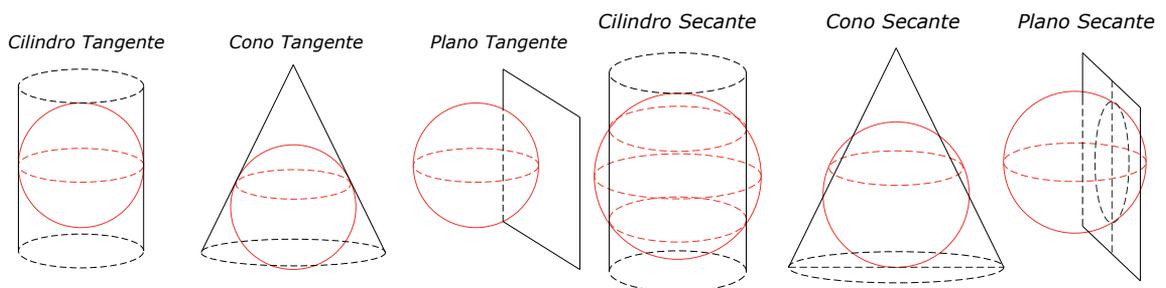
Afilácticas: estas proyecciones no son conformes y tampoco equivalentes, ni equidistantes pero intentan reducir al mínimo las alteraciones.

1.3b Clasificación de las proyecciones según la figura geométrica donde se proyecte

Las figuras geométricas a las que se hace referencia para desarrollar la proyección son: el cilindro, el cono y el plano. Estas figuras se pueden ubicar envolviendo a la Tierra en diferentes posiciones, siendo tangentes⁵ o secantes⁶ a la misma.

En la figura 17 se observa la posición de las diferentes figuras en que puede proyectarse la esfera terrestre.

Figura 17. Figuras utilizadas para la realización de proyecciones



Fuente: elaboración propia en base a datos del IGM, 1997

5 Se entiende por tangente, (Del ant. part. act. de tangir; lat. tangens, -entis). 1. adj. Que toca; 2. adj. Geom. Dicho de dos o más líneas o superficies: Que se tocan o tienen puntos comunes sin cortarse; 3. f. Geom. Recta que toca a una curva o a una superficie sin cortarlas.

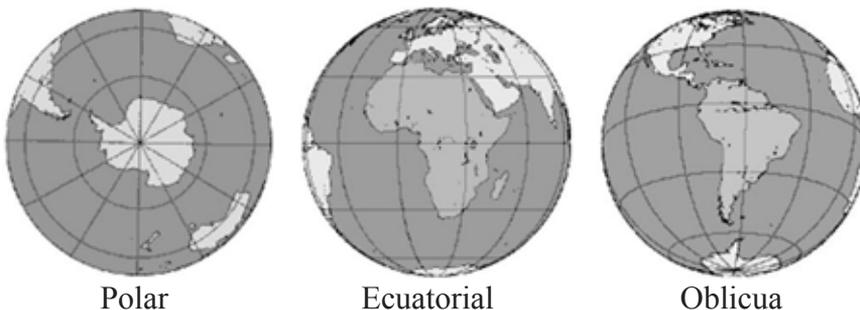
6 Se entiende por secante (Del lat. secans, -antis). 1. adj. Geom. Dicho de una línea o de una superficie: Que corta a otra línea o superficie. Diccionario de la Real Academia Española. <http://buscon.rae.es/draeI/>

1.3c Clasificación de las proyecciones según el plano de proyección

Según la posición del plano de proyección, existe una distinción entre proyecciones polares, ecuatoriales y oblicuas o inclinadas (Fig. 18).

En las proyecciones polares el centro es uno de los polos. En las ecuatoriales, el centro es la intersección entre la línea del Ecuador y un meridiano. En las oblicuas o inclinadas, el centro está en cualquier otro punto.

Figura 18. Tipos de proyecciones según el plano de proyección



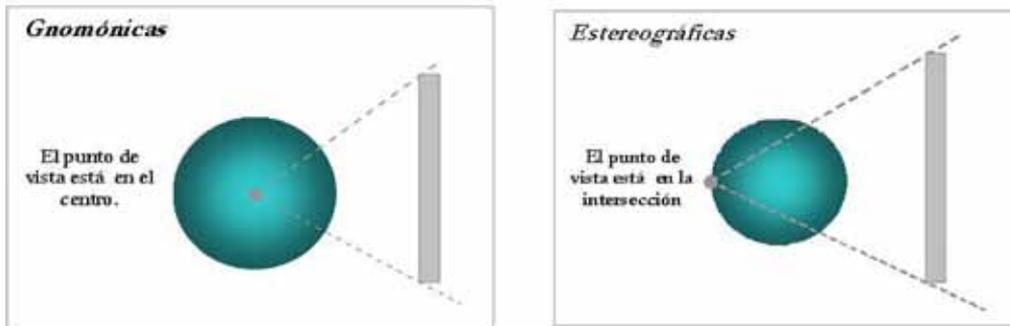
Fuente: Elaboración propia elaboración propia en base a datos del IGM, 1997

1.3d Clasificación de las proyecciones según el punto de vista

Según el punto de vista, las proyecciones se clasifican en (Fig. 19):

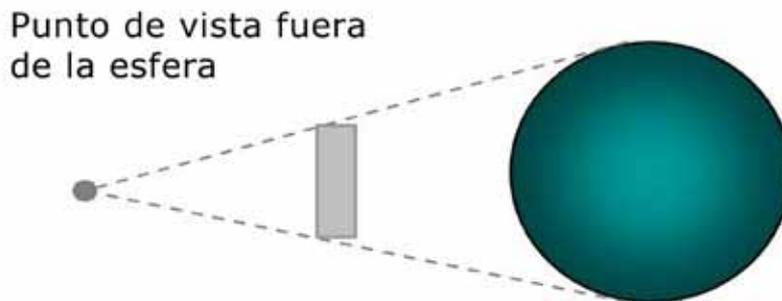
Proyecciones gnomónicas: el punto de vista se encuentra en el centro de la esfera.

Proyecciones estereográficas: el punto se halla en la intersección del punto de tangencia del plano de proyección

Figura 19. Tipos de proyecciones según el punto de vista

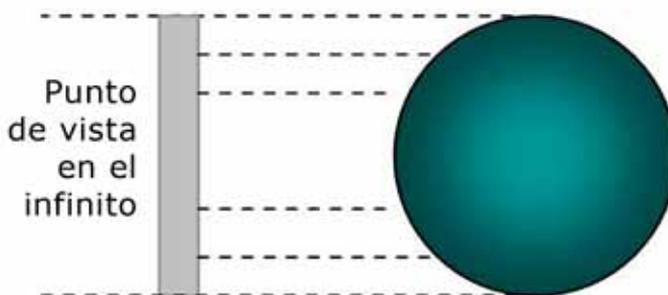
Fuente: elaboración propia en base a datos del IGM, 1997

En la proyección escenográfica, el punto de vista se encuentra fuera de la esfera (Fig. 20).

Figura 20. Proyección escenográfica.

Fuente: elaboración propia en base a datos del IGM, 1997

Finalmente, la proyección se denomina ortográfica cuando el punto de vista se encuentra en el infinito (Fig. 21).

Figura 21. Proyección ortográfica.

Fuente: elaboración propia en base a datos del IGM, 1997.

1.3e Proyecciones más utilizadas

Dada la variedad y complejidad de sistemas de proyecciones existentes, se presentarán las más empleadas en el mundo (cuadro 1).

Cuadro 1. Tipos de proyecciones

Acimutales	Según la posición del plano de proyección	Polar Ecuatorial Oblicua u horizontal
	Según punto de Vista	Gnomónica Estereográfica Escenográfica Ortográfica
Cilíndricas	Gauss Krüger Mercator Mercator Transversa	
Cónicas	De Borne Modificada Cónica conforme de Lambert	
Policónicas	De Haasler	

Otros	Sinusoidal(Mercator-Sanson-Flamsteed) Homolográfica cortada (Goode) Equivalente Aitoff Globular Estrelladas
-------	---

Fuente: elaboración propia en base a datos del IGM, 1997.

Proyecciones acimutales

La proyección acimutal es aquella en la que el globo terrestre queda proyectado sobre un plano que puede ser tangente o secante a éste. Es importante aclarar que el "acimut" es el ángulo comprendido en un plano horizontal y medido en el sentido de las agujas del reloj.

Se forma por una dirección a determinar y una dirección fija tomada como referencia, que generalmente es el norte. El acimut de un punto hacia el este, es de 90° y hacia el oeste de 270°.

En geodesia o topografía geodésica el acimut sirve para determinar la orientación de un sistema de triangulación.

Proyecciones cilíndricas

Una proyección cilíndrica utiliza un cilindro tangente o secante a la esfera de la Tierra. En estas proyecciones, los meridianos y los paralelos son representados por rectas perpendiculares.

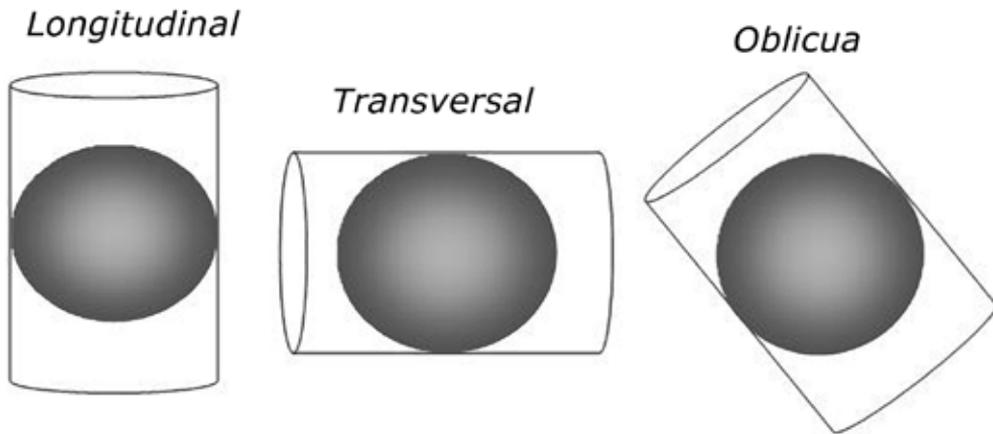
Según la relación existente entre los ejes del cilindro y el de la Tierra, son las proyecciones:

Normal o longitudinal: los ejes son coincidentes.

Transversal: el eje del cilindro es perpendicular al eje de la Tierra

Oblicuo: los ejes del cilindro y de la Tierra son oblicuos entre sí.

En este caso, los paralelos son elipses que mantienen su paralelismo y los meridianos coinciden en los polos (Fig. 22).

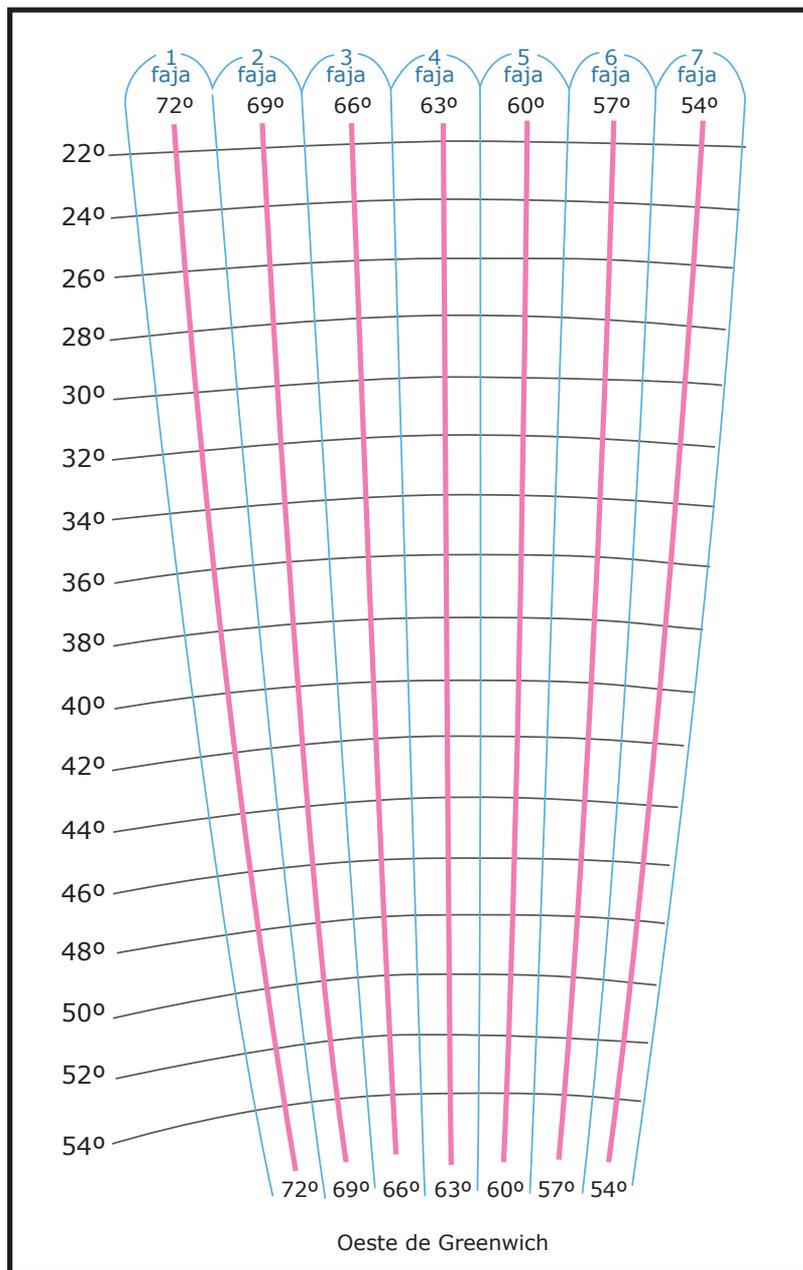
Figura 22. Tipos de proyecciones de acuerdo a la ubicación del cilindro

Fuente: elaboración propia en base a datos IGM, 1997

Proyección Gauss Krüger

Esta proyección conforme, cilíndrica y transversal, fue adoptada por el IGM mediante la Disposición Permanente N°197 (24 de abril de 1925), para la confección de todas las cartas topográficas nacionales. Divide a la República Argentina (sector continental e Islas Malvinas) en 7 fajas meridianas numeradas de oeste a este.

Cada faja de la grilla Gauss-Krüger mide 3° de ancho (longitud) y tiene como propio origen la intersección del Polo Sur con el meridiano central de cada faja. (Fig. 23).

Figura 23. Grilla Gauss - Krüger

Fuente: Atlas Instituto Geográfico Militar, 2001

Con el objeto de evitar coordenadas negativas, se le asigna al meridiano central de cada faja el valor arbitrario de 500.000 metros y al Polo

Sur el valor cero metros.

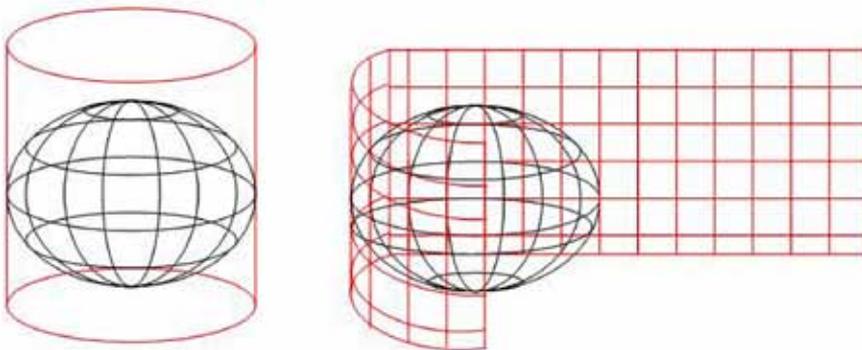
Las distorsiones resultan imperceptibles en áreas pequeñas, pero se incrementan en las zonas más alejadas del meridiano central.

En nuestro país, la proyección Gauss – Krüger se convirtió en sinónimo de sistema de referencia, por ello es preciso recordar que los sistemas de referencia pueden ser Campo Inchauspe o POSGAR asociado a WGS84.

Proyección cilíndrica de Mercator

Es una proyección en donde los meridianos y los paralelos están representados por líneas rectas que se interceptan de manera perpendicular (Fig. 24).

Figura 24. Proyección de Mercator

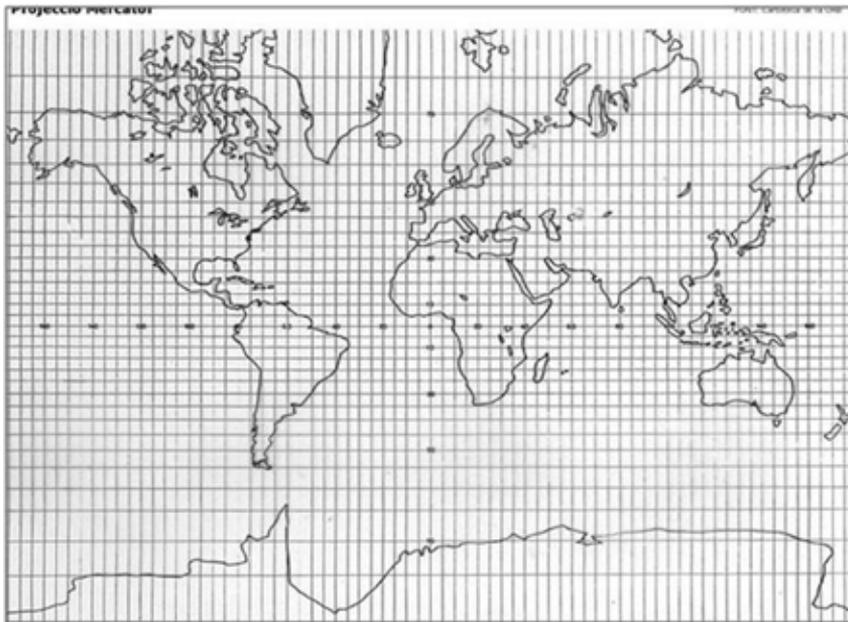


Fuente: elaboración propia en base a datos IGM, 1997

Los meridianos se alinean de forma paralela, manteniendo una distancia constante, y se disponen de forma vertical. Los paralelos se encuentran ubicados horizontalmente aumentando su escala a medida que se alejan del Ecuador. Por lo tanto, la representación en el mapa de aquellas latitudes superiores a los 80° se hace compleja.

Si la extensión de la superficie que se representa es pequeña, la proyección mantiene la forma en el plano. Sin embargo, en el caso en que la porción representada fuese grande, se verá deformada por razones de escala. Así, en la figura 25 se observa el tamaño sobredimensionado de la Antártida.

Figura 25. Planisferio elaborado según la proyección Mercator.



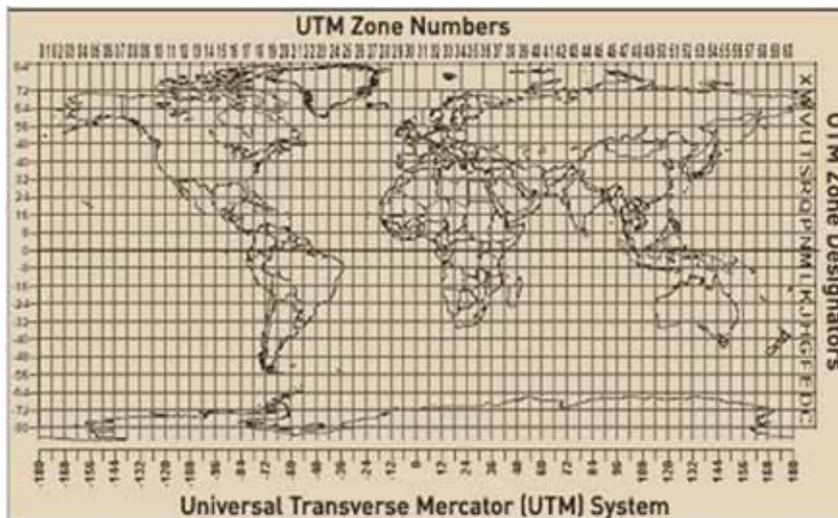
Fuente: <http://www.upf.edu>

Proyección Universal Transverse Mercator (U.T.M)

Es una variante de la proyección cilíndrica que se utiliza mundialmente para representar las superficies que se encuentran cercanas a la latitud de 80° Sur. Tiene como ejes al meridiano Central y al Ecuador, que mantienen su perpendicularidad, siendo los demás meridianos y paralelos curvas complejas (Fig. 26).

Las coordenadas de la tierra se proyectan sobre un cilindro tangente a los meridianos. Es conveniente utilizarla para áreas pequeñas o que cubran poca longitud, debido a que la deformación aumenta a medida que aumenta la distancia al meridiano tangente.

Figura 26. Planisferio elaborado según la proyección UTM



Desde el punto de vista matemático es idéntico a la proyección Gauss – Krüger pero se diferencia en su modo de aplicación (Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, 1999):

- Utiliza el módulo 0.9996 para el meridiano central (en lugar de 1), resultando secante
- El ancho de las fajas es de 6°
- El origen de las abcisas es un punto ubicado a 10.000.000 metros del Ecuador, en el hemisferio Sur.
- La abcisa x se denomina Northing (N) y a la ordenada Easting (E)

A pesar de las recomendaciones internacionales para usar la proyección UTM, el IGM justificó la adopción y el mantenimiento de Gauss–Krüger mediante el análisis científico realizado por Esteban Horvat.

Proyecciones cónicas

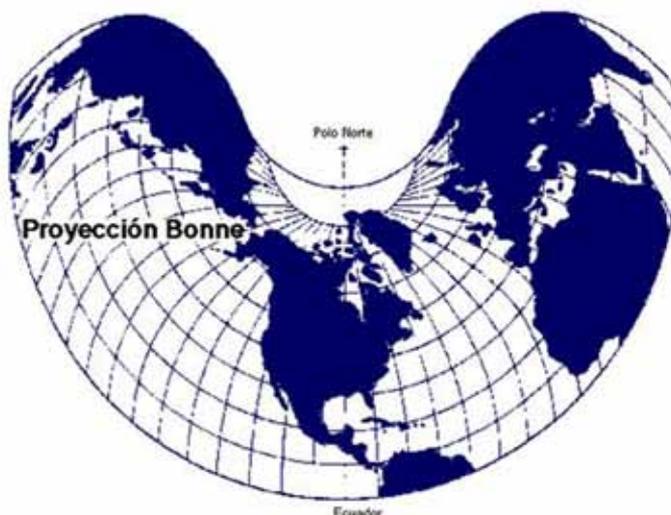
La proyección cónica es aquella proyección en la que el globo terrestre queda proyectado sobre un cono que puede ser tangente o secante a éste.

Proyección cónica de Bonne

En esta proyección los meridianos no se representan como rectas

concurrentes sino como arcos. Los paralelos son círculos concéntricos (Fig. 27).

Figura 27. Mapa elaborado según la proyección cónica de Bonne

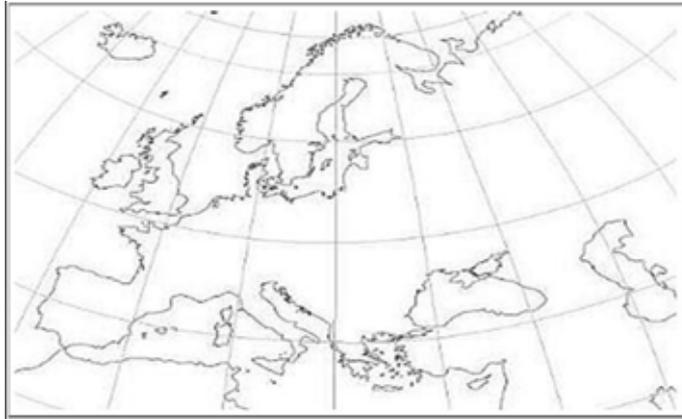


Fuente: Escuela Universitaria de Ing. Téc. Topográfica de Madrid. (<http://www.topografia.upm.es>)

Proyección modificada Cónica Conforme de Lambert

En esta proyección los paralelos son arcos concéntricos con un espaciado variable, ya que se unen hacia el centro del mapa. Los meridianos son líneas concurrentes equidistantes en el mismo círculo e interceptan a los paralelos a 90° . Se utiliza un cono tangente a la superficie terrestre y su eje coincide con el de la Tierra (Fig. 28).

Figura 28. Mapa elaborado según la proyección modificada cónica conforme de Lambert



Fuente: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Topográfica de Madrid. (<http://www.topografia.upm.es>)

Proyecciones policónicas

Resultan de unir de manera artificial diferentes proyecciones cónicas. Son proyecciones en las cuales los paralelos son círculos no concéntricos y cada uno de ellos está trazado sobre su propio radio, siendo el meridiano central una línea recta de escala real. Sin embargo, los demás meridianos son curvos. La escala de cada paralelo es correcta pero aumenta en los meridianos a medida que se alejan del central. No son ni proyecciones equivalentes ni conformes, pero sirven para los mapas de gran extensión. En particular la proyección policónica de Hassler mantiene la escala en el meridiano central y en todos los paralelos.

Otros tipos de proyecciones

En este apartado se presentan otros sistemas de proyección existentes.

Proyecciones poliédricas

Son las proyecciones basadas en la cobertura del globo mediante un poliedro esférico de caras planas. Un cuadrilátero de la esfera terrestre se proyecta sobre un plano trapezoidal. La escala se conserva tanto en el meridiano central como en los lados. Este tipo de proyección se usa especialmente para realizar mapas topográficos a gran escala.

Proyección Sinusoidal Mercator-Sanson-Flamsteed

Es una proyección equivalente con todos los paralelos representados por rectas paralelas equidistantes donde el paralelo base es el Ecuador, el cual se traza como una línea recta a escala. El Meridiano Central se traza también como una línea recta a escala. Los paralelos se trazan como líneas rectas a través de los puntos de división realizados en el Meridiano Central. Los meridianos constituyen curvas sinusoidales trazadas a través de los correspondientes puntos señalados en cada paralelo. Las altas latitudes quedan recortadas debido a que los meridianos son demasiado oblicuos respecto a los paralelos. Es una variante de la proyección de Bonne en la cual el Ecuador es el paralelo base. Es una opción para proyectar continentes boreales. (Fig. 29).

Figura 29. Planisferio según la proyección Sinusoidal Mercator-Sanson-Flamsteed

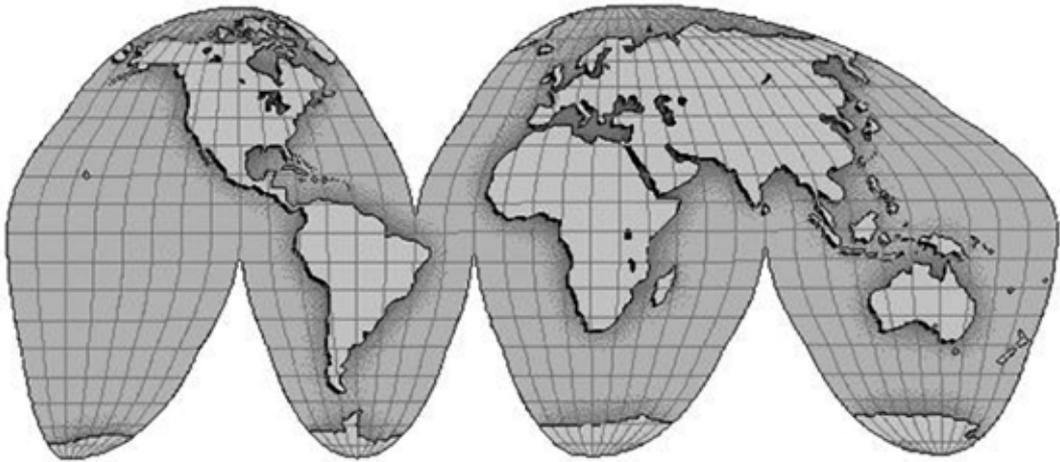


Fuente: IGM, 1997

Proyección Homográfica Cortada de Paul Goode

Permite representar a los océanos centrados en varios meridianos, para evitar que la deformación sea importante. Es muy utilizada en los mapas de distribución de productos (Fig. 30).

Figura 30. Planisferio elaborado según la proyección Homográfica Cortada de Paul Goode



Fuente: IGM, 1997

Proyección Equivalente Aitoff

Es una proyección cuyo eje mayor, el Ecuador, es el doble del meridiano central. Los paralelos (excepto el Ecuador) y los meridianos (excepto el central), están curvados y la deformación es menor en los extremos del mapa (Fig. 31)

Figura 31. Planisferio elaborado según la proyección Equivalente Aitoff



Fuente; IGM, 1997

Proyección globular

En ella los paralelos y meridianos son líneas ligeramente curvas⁷, un ejemplo puede ser la proyección afluéntica para mapamundis que logra una deformación pequeña sin ser conforme o equivalente (Fig. 32).

Figura 32. Mapa elaborado según la proyección globular



Fuente: IGM, 1997

Proyección estrellada

Son proyecciones discontinuas de planisferios con forma de estrella (Fig. 33).

Figura 33. Planisferio elaborado según una proyección estrellada



Fuente: IGM, 1997

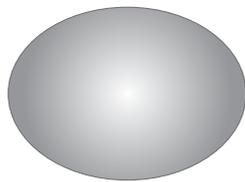
⁷ Esta proyección fue diseñada por Nicolasi en el siglo XVII.

1.4 Sistema de Coordenadas Geográficas

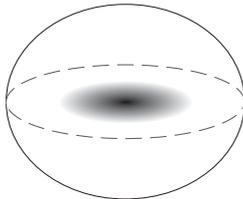
1.4a Definición

Las Coordenadas Geográficas constituyen un sistema universal de referencia que permite la ubicación de puntos sobre la superficie terrestre. Se basa en un conjunto de anillos imaginarios que rodean a la Tierra con dirección Este-Oeste, unos; y Norte-Sur, otros. La figura 34 presenta las definiciones de las representaciones básicas.

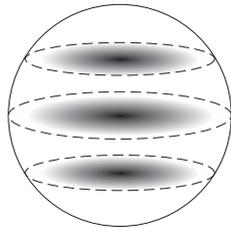
Figura 34. Componentes del sistema de coordenadas geográficas



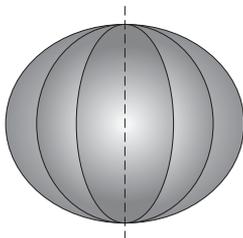
Polos: puntos donde se intercepta el eje de rotación de la Tierra con la superficie de la misma.



Ecuador: es un plano perpendicular al eje de rotación de la Tierra, que pasa por su centro.



Paralelos: son planos paralelos al Ecuador.



Meridianos: un haz de infinitos planos, meridianos al eje de la Tierra.

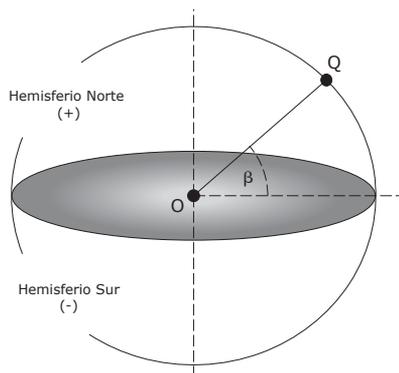
Así, sobre la superficie del globo se genera una especie de red de referencia, por medio de la cual se puede localizar cualquier punto en la superficie en relación al Ecuador y al Meridiano de Greenwich, donde la unidad de medida son los grados, minutos y segundos.

1.4b Latitud y Longitud

Latitud

Los paralelos se encuentran al Norte y al Sur del Ecuador. Comienzan con 0° en el Ecuador, hasta llegar a los 90° en los círculos polares. Así, un punto puede localizarse del 0° hasta los 90° en el hemisferio Norte y del 0° a los 90° en el hemisferio Sur, definiéndose de este modo la Latitud (Fig. 35).

Figura 35. Medición de la latitud

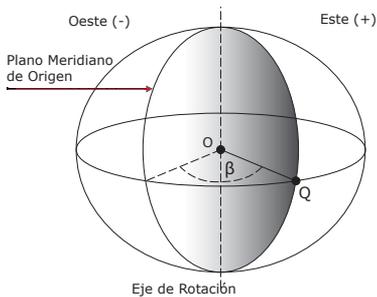


Se denomina Latitud del punto Q, al ángulo β que forma OQ con el plano del Ecuador.

Fuente: Elaboración propia

Longitud

Los meridianos se encuentran al Este y al Oeste del meridiano de Greenwich. A partir de este primer meridiano, se enumeran de 0° a 180° al Este y al Oeste, dando origen a la Longitud (Fig. 36).

Figura 36. Medición de la longitud

Se denomina Longitud al ángulo diedro β que, como arista tiene al eje de rotación de la Tierra, y como caras al plano meridiano de origen y al plano meridiano que pasa por Q.

Fuente: Elaboración propia

1.5 Sistema de Coordenadas Planas

1.5a Definición

Según Robinson (1987), "el sistema de coordenadas geográficas es muy útil para grandes superficies, y la medición angular de distancias y direcciones, expresada en grados, minutos y segundos, apenas puede ser mejorada. Pero a menudo, resulta incómoda. Como las fórmulas de la geometría plana son mucho más sencillas que las de la geometría esférica (...), en el período de entreguerras, se diseñaron un buen número de sistemas de coordenadas planimétricas rectangulares. Puede decirse que actualmente la utilización de sistemas de cuadrícula es prácticamente universal".⁸

Las coordenadas planas se utilizan para la localización de puntos en un levantamiento topográfico y pueden pertenecer a un sistema general que se extienda por todo el país o a un sistema local.

Como ya se expresó anteriormente, en nuestro país el territorio se encuentra dividido en 7 fajas en el sentido N-S (Fig. 23). Las mismas se

⁸ "El procedimiento básico es el siguiente: en primer lugar, se elabora un mapa, transformando la superficie esférica en un plano (mediante un sistema de proyección cartográfica), y una vez preparado el mapa plano, se le superpone una cuadrícula de coordenadas regulares planas. Para localizar una posición únicamente es preciso especificar las coordenadas X e Y al nivel de precisión que se desee en la división decimal de las unidades de distancias terrestres" (Robinson, et al; 1987)

denominan fajas meridianas de Gaüss-Kruger y miden de 3° de longitud cada una, siendo el eje x el meridiano central de esa faja.

Estos meridianos se corresponden con las longitudes: 72, 69, 66, 63, 60, 57 y 54 respecto del Meridiano central de Greenwich. Las fajas están numeradas de 1 a 7 en sentido oeste - este, es decir que el meridiano de 72° es la faja 1 y así sucesivamente.

Cada punto del plano tiene dos valores de coordenadas planas. X es la distancia al Polo Sur expresada en metros, e Y es la separación del eje x, o sea del meridiano central de la faja. Para evitar que se generen valores negativos, a cada meridiano central se le atribuye un valor arbitrario de $y=500000$.

El sistema de coordenadas planas de Argentina tiene su origen en el **Polo Sur** y su utilización no es conveniente para representar grandes extensiones, debido a la curvatura que posee la Tierra. Por lo tanto se debe limitar la extensión de las superficies a representar, de manera que las deformaciones no excedan ciertos límites.

1.6 Generalidades de Cartografía

La cartografía es una rama de las ciencias geográficas que estudia las formas de representar la superficie esférica de la Tierra o parte de ella.

La transformación de una superficie curva a una plana se realiza por medio de algún sistema de proyección que generen mínimas deformaciones sobre las distancias, las áreas o los ángulos.

El resultado de las proyecciones sobre el plano, da origen a los mapas o cartas según la escala del territorio que se represente. Con frecuencia, los trabajos que se realizan necesitan disponer de una imagen reducida de la superficie del terreno bajo estudio; para ello se requiere de las cartas.

1.6a Mapas

Los mapas son representaciones lineales de un sector de la superficie terrestre en una escala menor. Permiten observar una gran superficie

por medio de una relación de similitud entre la dimensión real y la de su imagen o representación, dicha relación se denomina escala.

La construcción de los mapas debe ser precedida por medidas exactas que establezcan, en el territorio, una red de puntos de referencia.

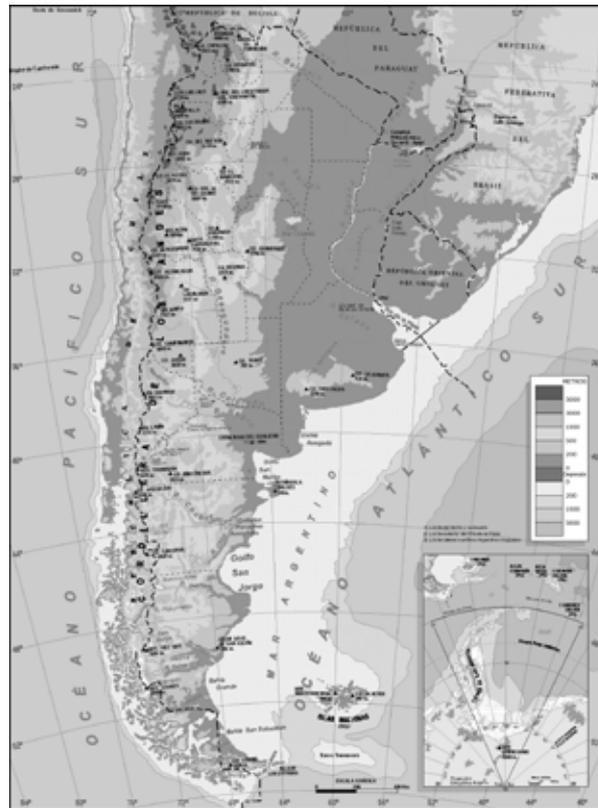
Posteriormente, se elaboran los mapas básicos que requieren de relevamientos topográficos del terreno, fotografías aéreas, y operaciones relacionadas con la cartografía, la redacción y la representación. Estos mapas son necesarios para la realización de mapas derivados y de compilación (Joly, F; 1982).

Los mapas básicos dan origen a los derivados y éstos a los mapas derivados secundarios, que son de escala inferior. En cada caso, se mantiene cierta información, como la hidrografía; sin embargo, alguna información se pierde al realizarse la reducción.

A partir del dibujo base, se traza la nueva planimetría delineando, en primer lugar, las vías de comunicación, las edificaciones, los límites y por último se ajusta la orografía.

En los mapas, los rasgos naturales o artificiales se indican mediante símbolos y signos convencionales. Tienen escalas de 1: 1.000.000 y menores.

En la Figura 37 se presenta un mapa topográfico de la República Argentina.

Figura 37. Mapa de la República Argentina

Fuente: www.igm.gov.ar

Los mapas topográficos representan detalladamente la superficie terrestre. Refieren a la posición, forma, dimensiones e identificación de los accidentes del terreno, así como de los objetos concretos que se encuentran permanentemente sobre él (Fernand Joly, 1982). Estos mapas suelen constituir la base de los mapas temáticos.

Según la escala que posea el mapa topográfico, presentará diferentes particularidades. En aquellos donde la escala es más pequeña figuran ríos, lagos, costas y la altitud se expresa en curvas de nivel. También figura información sobre la urbanización, las rutas, las distintas fronteras políticas y algunas veces acerca de los bosques, características naturales o humanas importantes.

Los mapas temáticos⁹, por su lado, muestran propiedades o conceptos particulares de la distribución espacial de un fenómeno geográfico. Estos mapas representan fenómenos espaciales de cualquier naturaleza sobre un mapa base o un fondo de referencia y también sus relaciones, en todo lo que afecte al espacio geográfico.

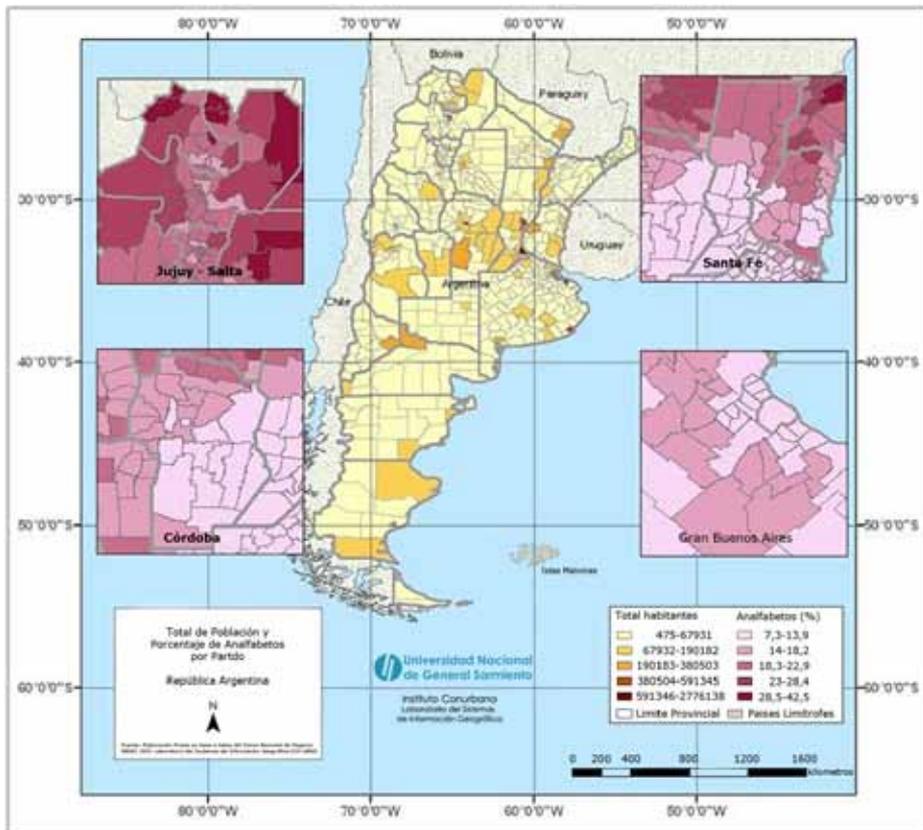
Ejemplos de mapas temáticos son los que se refieren a la actividad económica, que muestran la distribución espacial y la interrelación de las diferentes actividades de producción, distribución e intercambio de bienes y servicios. Para la elaboración de estos mapas se utilizan símbolos que varían en función del tamaño (longitud, espesor, superficie) e intensidad óptica (color, valor y tonalidad) para la representación de actividades o fenómenos. Éstos se pueden clasificar en mapas cuantitativos y cualitativos, mapas analíticos y sintéticos y finalmente los mapas estáticos y dinámicos.

Los mapas cualitativos muestran la distribución espacial de un grupo de datos representativos, pero en ellos no se pueden determinar relaciones de cantidad como se hace en los cuantitativos.

En la figura 38, se observa un mapa de la República Argentina, donde las variables cuantitativas que se representan a nivel departamental son Total de Población y Porcentaje de Analfabetos. Los datos fueron tomados del Censo Nacional 2001 realizado por el Instituto Nacional de Censos y Estadísticas (INDEC).

⁹ En la última parte de esta unidad, se desarrollan los contenidos de los mapas temáticos con mayor detalle.

Figura 38: Total de Población y Porcentaje de Analfabetos por Partido, República Argentina



Los mapas analíticos o de referencias representan el tamaño y distribución de un fenómeno dado, como por ejemplo, los mapas topográficos. Cuando el fenómeno estudiado es puntual, como el padrón de locales que constituye el directorio de empresas, generalmente debe representarse con un signo puntual (un punto, un círculo con o sin relleno, etc). El conjunto de estos puntos constituyen las zonas de densidades diferenciadas. Estas variaciones de intensidad del punteado permiten observar, en una lectura global, la distribución general de las componentes. También se pueden contar los puntos y evaluar cuantitativamente la importancia del fenómeno. Forman parte de este tipo de mapas, los que localizan

empresas, ciudades y/o comercios. Si la principal característica del fenómeno es su longitud, pueden ser representados de forma lineal, variando el color y el grosor según su clase, como por ejemplo redes hidrográficas, vías de ferrocarril o rutas.

Los mapas sintéticos relacionan por superposición o por transformación los datos de varios mapas analíticos, permitiendo la comparación y la búsqueda de zonas homogéneas. Un buen ejemplo son los mapas de usos del suelo.

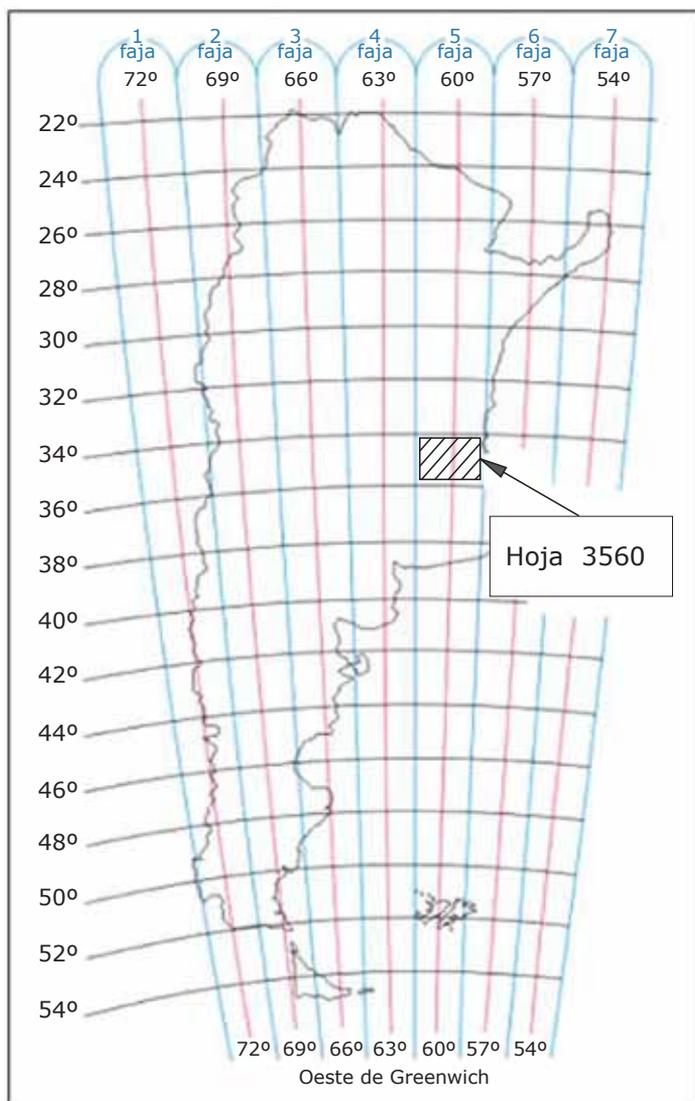
Muchos mapas son estáticos, esto es, se refieren a un determinado momento en el tiempo, como si se tratara de una fotografía. Por otro lado, los mapas dinámicos hacen intervenir al factor tiempo. Los cartógrafos han desarrollado mapas que muestran fenómenos a través del tiempo. Un esquema conocido es la presentación en serie de mapas estáticos referidos a varios puntos en una secuencia temporal. Otra forma conocida del mapa dinámico es el mapa de flujo, que muestra los desplazamientos en el espacio y en el tiempo (migraciones periódicas, fenómenos de circulación o transporte de personas, productos, etc).

En urbanismo es interesante poder construir mapas que representan la evolución de la ciudad a través de los años, es decir, la manera en que un casco urbano se fue expandiendo a fin de comprender la lógica de su crecimiento sobre el territorio natural, desde la fundación hasta su consolidación.

1.6b Cartas

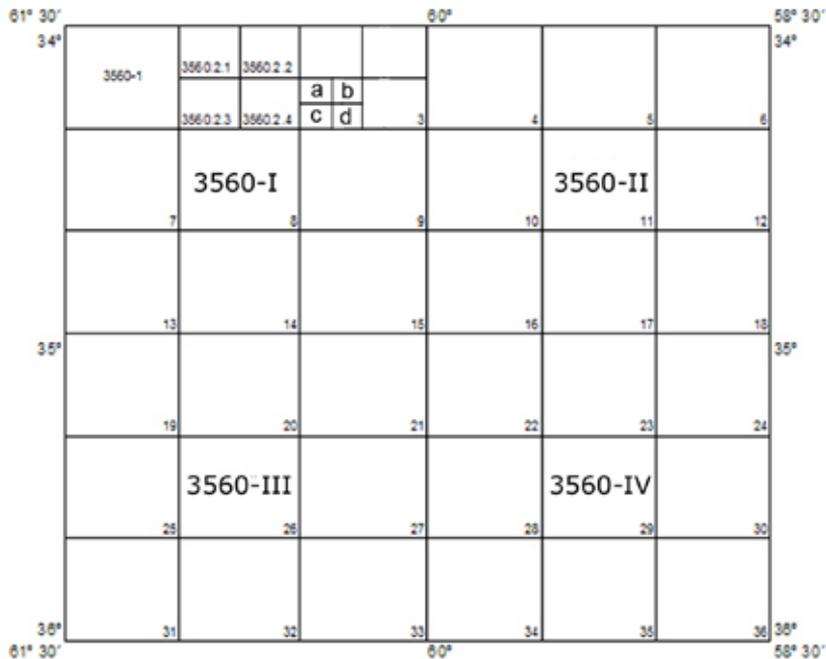
Es una denominación genérica de la representación en un plano, de los detalles naturales y artificiales que se encuentran en la superficie del suelo y de su relieve a una escala superior a 1: 500.000 (figuras 39 y 40). La carta topográfica expresa la planimetría y la altimetría del terreno que reproduce. Dicha carta está compuesta por una cuadrícula formada por líneas que recorren el mapa de norte a sur y de este a oeste (coordenadas Gauss Krüger).

Figura 39. División en fajas meridianas. Sistema de proyección Gauss Krüger



Fuente: Atlas Instituto Geográfico Militar, 1997

Figura 40. Hoja 3560. Detalle de la denominación de las cartas de menor escala



Fuente: Elaboración propia en base a IGM, 1997

Los datos que identifican las cartas topográficas son:

- Ubicación e identificación de la carta: Se recurre a su característica, constituida por un número que permite ubicar geográficamente la carta.
- Coordenadas geográficas y planas
- Escalas gráfica y numérica

Definiciones a tener en cuenta

- Norte de la cuadrícula: es aquel determinado por la dirección paralela al meridiano central de la faja que pasa por el punto considerado (NC).
- Norte geográfico: es el determinado por el meridiano que pasa por el punto considerado.
- Norte magnético: determinado por la dirección que señala una agu-

ja imantada que pasa por el punto considerado.

- Convergencia de Meridianos: ángulo formado por la recta que marca el Norte de la cuadrícula con la recta que marca el Norte geográfico.
- Declinación: ángulo formado por la recta que marca el Norte geográfico con la recta que marca el Norte magnético.
- Ángulo de dirección de una recta en el sistema de coordenadas planas: es el que forma dicha recta con el norte de la cuadrícula.
- Acimut de una recta en el sistema de coordenadas: ángulo que forma dicha recta con el Norte geográfico.

1.7 Clasificación cartográfica

Teniendo en cuenta sus características según origen, escala, área de incumbencia, formas y contenidos, las cartas se pueden clasificar en:

Origen

Las cartas pueden ser consideradas básicas en función de la forma de construcción, a través de registros directos de medición de la superficie terrestre. Se denominan derivadas a aquellas confeccionadas por procesos de compilación de información de una cartografía básica preexistente. Por último, se encuentran las temáticas. Las mismas se apoyan en la cartografía básica o derivada y desarrollan algún aspecto de la información y/o incorporan información específica.

Escala

Los mapas son reducciones de la realidad en un papel. El mapa es menor que el área que representa y tiene una relación dimensional definida entre la realidad y su representación, esa relación se denomina escala.

Teniendo en cuenta la definición de escala, la clasificación es la siguiente:

Escala Grande: de *1: 1.000* a *1: 20.000*

Escala Media: de *1: 25.000* a *1: 200.000* (cartas topográficas)

Escala Chica: de 1: 250.000 a 1: 1.000.000 (mapas)

Es decir, a medida que la superficie representada disminuye, la escala aumenta.

Por su área de incumbencia

Local: se ajusta a un área limitada y satisface un determinado requerimiento.

Regional: se circunscribe a las características regionales y aporta su desarrollo.

Nacional: cubre la totalidad del territorio de un país y responde a variadas utilidades.

Formas y contenidos

A continuación se presenta un listado de los tipos de cartas en función de los contenidos :

Carta Topográfica: básica o derivada, con elementos naturales o artificiales del terreno que permite hacer mediciones.

Carta Planimétrica: similar a la topográfica pero sin información altimétrica.

Carta Geográfica: con elementos planimétricos y altimétricos. Escala 1:500 000 o menor.

Carta en Relieve: carta planialtimétrica representada en un sistema tridimensional.

Carta Catastral: provee información de las áreas urbanas y suburbanas.

Cartas Especiales; representan una información específica sin importar su naturaleza.

Cartas Militares: de uso específico de las fuerzas armadas.

Cartas náuticas; según el Servicio de Hidrografía Naval, estas son las principales definiciones operativas:

Carta o publicación Náutica: Es un mapa o libro con fines específicos, o una base de datos especialmente recopilada de la cual se obtiene dicho mapa o libro, publicado oficialmente por un gobierno o bajo la autoridad de un gobierno, un servicio hidrográfico autorizado o cualquier otra

institución estatal pertinente y que está concebido para satisfacer las necesidades de la navegación marítima.

Carta náutica Raster (BSB): Facsímil digital de una carta de papel producido o distribuido por los servicios hidrográficos autorizados por los gobiernos.

Carta Náutica Electrónica (CNE): Base de datos, normalizada en cuanto a contenido, estructura y formato, publicada para que se utilice con el SIVCE (Sistema de Información y Visualización de Cartas Electrónicas) con el permiso de los servicios hidrográficos autorizados por los gobiernos. La CNE incluye toda la información cartográfica necesaria para la seguridad de la navegación y puede contener información complementaria, además de la que figura en las cartas de papel (por ejemplo, derroteros), que se considere necesaria para la seguridad de la navegación.

Figura 41. Carta náutica de la Bahía de Samborombón



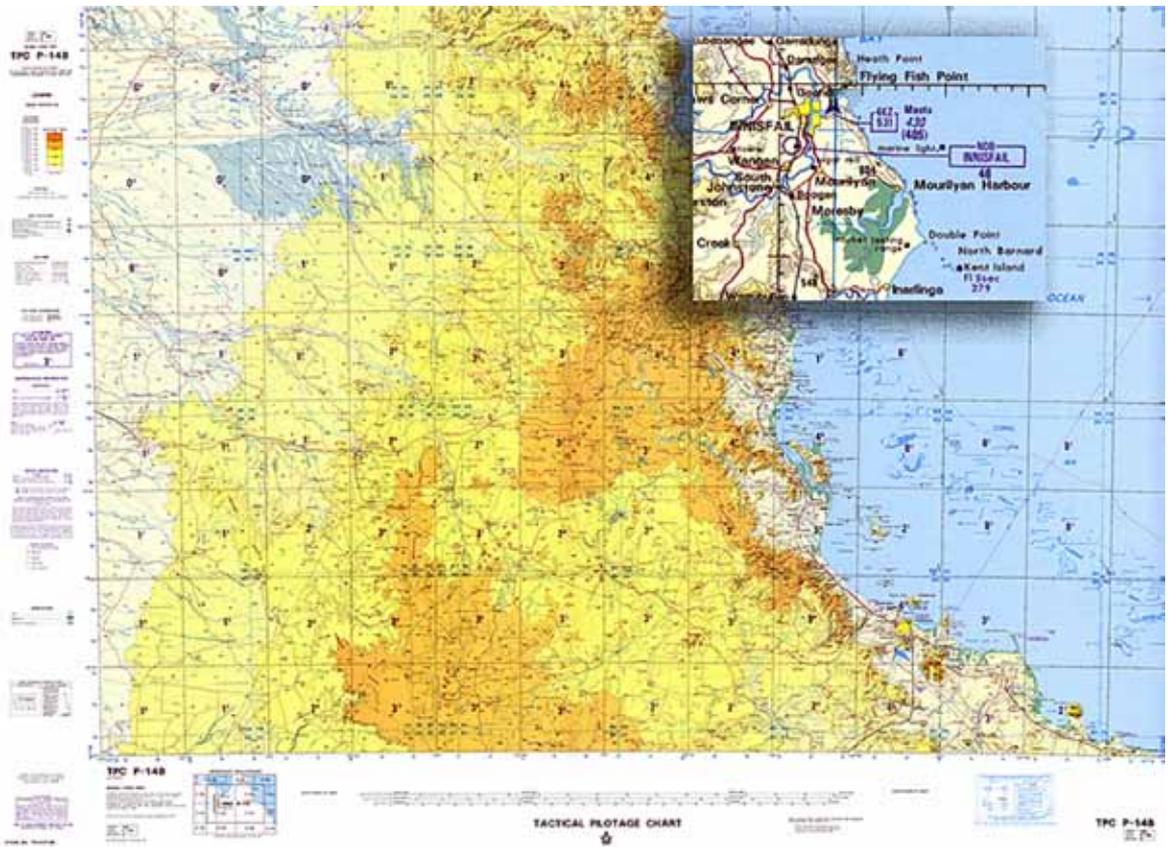
Fuente: <http://www.hidro.gov.ar/Nautica/PNauticas.asp>

Cartas aeronáuticas. La Dirección de Tránsito Aéreo (DTA) dependiente del Comando de Regiones Aéreas es el organismo oficial encargado de editar las publicaciones y cartas aeronáuticas empleadas por los Servicios de Seguridad y Protección al Vuelo, personal aeronáutico y usuarios en general. Las cartas son producidas de acuerdo con las normas y métodos recomendados por la OACI, a excepción de las series cartográficas denominadas CAA (Carta Aeronáutica Argentina a E 1:1.000.000) y CAAT (Carta Aeronáutica Argentina Táctica a E 1:500.000) que satisfacen los requisitos de la navegación aérea visual (VFR) y se confeccionan siguiendo especificaciones del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH).

Figura 42. Cobertura de cartas aeronáuticas en el espacio aéreo argentino



Fuente: <http://www.cra.gov.ar/dta/ais/aip/docs/22.pdf>

Figura 43. Carta aeronáutica. Australia

Fuente: http://www.defence.gov.au/DIGO/images_products/tactical_pilotage_chart.jpg

Capítulo 2. Planimetría y Altibatimetría

En este capítulo se tratarán los conceptos y métodos de trabajo aplicados en la altibatimetría y planimetría.

La topografía es una técnica utilizada “para representar un sector de la superficie terrestre, incluyendo las formas de relieve, accidentes naturales y elementos culturales”. (IGM, 2001). Dentro de la topografía, se incluyen la planimetría y la altibatimetría, las cuales permiten ubicar en el plano los accidentes naturales, elementos culturales, así como las formas del relieve terrestre y subacuático.

2.1 Planimetría

Según el Instituto Geográfico Nacional (ex IGM), la planimetría “es la representación en el plano de una porción de la superficie terrestre con los accidentes naturales y elementos culturales que existen en la misma, por medio de signos y símbolos convencionales. Se acostumbra agrupar los signos por su temática o relación directa, en secciones tales como: accidentes hidrográficos, vías de comunicación, vegetación, obras de arte, límites políticos, etc.”

Para poder realizar una representación lo más fiel posible de la superficie terrestre en un plano, habiendo seleccionado el sistema de proyección adecuado, es necesario aplicar el concepto de escala, que es la relación dimensional entre la realidad y su representación.

Según el Instituto Geográfico Nacional, la escala “es una relación numérica de semejanza entre una distancia horizontal en el plano y la distancia correspondiente en el terreno”. Generalmente se la representa como una fracción, por ejemplo: $1/50.000$, donde una unidad de medida en el mapa equivale a 50.000 de la misma unidad de medida sobre la superficie de terreno. Normalmente se escribe $1/50.000$ o $1:50.000$ y se lee “uno en cincuenta mil.”

Cuanto mayor es el denominador, menor es la escala y el detalle de

información, pero mayor la superficie de terreno abarcada. Cuanto menor es el denominador, mayor es la escala y el detalle de información, pero menor la superficie de terreno abarcada.

En la figura 44 se puede observar que el grado de detalle representado disminuye al aumentar el denominador de la escala.

Figura 44. Sector de un mapa en diferentes escalas



Fuente: IGM, 2001.

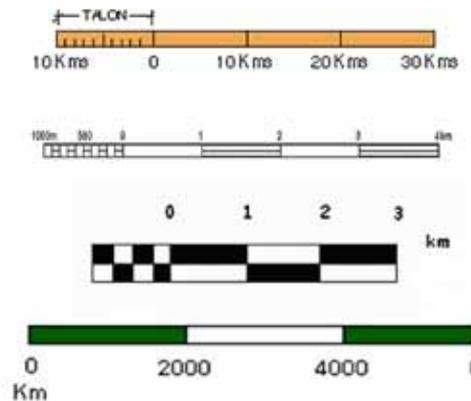
Tipos de escalas (IGM, 2001)

Escala numérica: Se representa de las siguientes formas:

1:50.000 o $1/50.000$

Escala gráfica: Es una línea dividida en n segmentos iguales, expresados en metros, kilómetros o la unidad adoptada en el mapa. A la derecha del cero presenta las unidades marcadas como unidades de medidas completas. A la izquierda del cero aparece una zona llamada talón, dividida en subunidades.

La escala gráfica se utiliza para evitar que la relación indicada en el mapa sea alterada debido a ampliaciones o reducciones del mapa original (Fig. 45).

Figura 45. Ejemplos de escalas gráficas

Empleo de escalas gráficas de las cartas

Para determinar la distancia en el terreno entre dos puntos unidos por una línea recta, se coloca un papel de margen recto y se marcan en él los dos puntos; luego se transporta esa medida a la escala gráfica. Se debe ubicar el extremo derecho de la medida con la gráfica y evaluarla con una división entera (se cuenta el número de unidades sobre la escala), luego sobre el talón de decimales se lee las fracciones de unidad restantes.

Para tomar la medida en el papel también se puede utilizar un compás o algún otro elemento.

Para determinar una distancia terrestre en línea de trazado irregular, también se puede utilizar un papel y descomponer la curva en tantos segmentos rectos como sea necesario, y luego medir la suma de ellos en la escala.

2.1 a Método de cuadrículas para la estimación de superficies

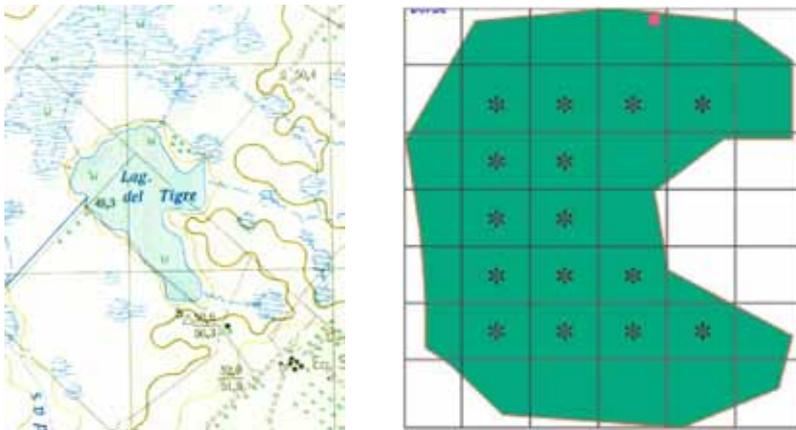
Para calcular el área de una superficie irregular (de manera aproximada), existe una manera sencilla de hacerlo y es calcar el contorno de dicha superficie y trasladarlo a una hoja milimetrada o cuadrículada. En ella se cuenta la cantidad de cuadros "completos" abarcados por la figura (de 1 cm x 1 cm, o sea, 1 cm²), y se estima cuantos cuadros más pueden

completarse con aquellos que quedaron "incompletos".

Si la carta es de una escala 1:50.000, donde 1 cm (en la carta) \approx 0,5 km (en el terreno), entonces, un cuadrado de: 1 cm x 1 cm \approx 0,5 km x 0,5 km es decir, 1 cm² \approx 0,25 km².

Ejemplo: Si se quiere calcular el área de la Laguna del Tigre (Fig 46):

Figura 46. Laguna de Tigre



Se puede calcar el borde de la laguna y transferir el dibujo a un papel milimetrado o cuadrículado, o bien, superponer una cuadrícula a nuestro dibujo.

2.2 Altibbatimetría

Según el Instituto Geográfico Nacional (2001), la altibbatimetría "es la representación gráfica de las formas del relieve (morfología) terrestre y subacuático que se presentan bajo el aspecto de elevaciones o alturas y depresiones o bajos. Entre los distintos sistemas de representación se destacan los más precisos (curvas de nivel y cotas) y los de valores aproximados (escala cromática)".

Las irregularidades de la superficie de la tierra, como elevaciones,

depresiones, etc. brindan valiosa información que es de suma utilidad plasmar en un mapa.

Se define como elevación a la altura (distancia vertical) de un objeto sobre o bajo un plano de comparación. El plano de comparación es una referencia a partir de la cual se deben llevar a cabo las mediciones; en general se utiliza como plano de comparación el nivel del mar (considerado la altura con un valor de 0 mts).

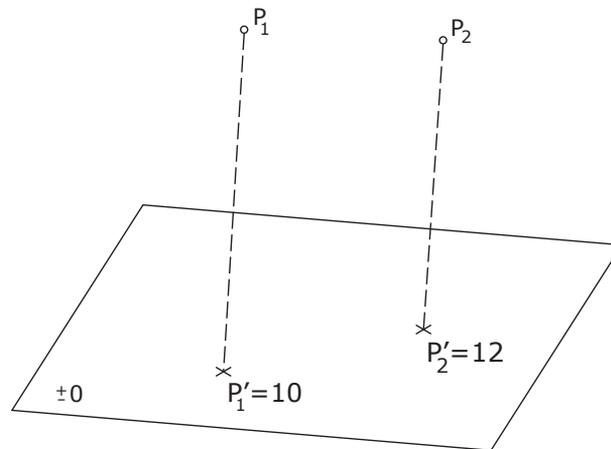
En la búsqueda de una representación altimétrica adecuada, se han determinado varios sistemas que deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Que pueda aplicarse sobre la planimetría sin que interfiera con ella, es decir que no le reste visibilidad.
- Que permita deducir las formas del terreno.
- Que sea una expresión lo más fiel posible del terreno.
- Que permita calcular la cota (altura) de cualquier punto.
- Que sea de fácil ejecución.

2.2a Sistema de curvas de nivel y puntos acotados

Puntos acotados

En la representación altimétrica, un punto acotado se indica proyectando a un plano de comparación las alturas o cotas del terreno por medio de un punto. La representación es más aproximada a la superficie del terreno cuando mayor sea el número de puntos acotados (Fig. 47).

Figura 47. Puntos acotados

Fuente: IGM, 1997

Curvas de nivel

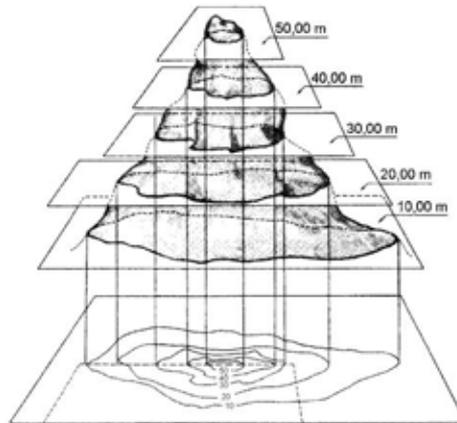
En este sistema la representación se realiza seccionando la superficie topográfica en planos paralelos a un plano de comparación (Fig 48).

Estos planos secantes se toman en forma equidistante (la separación entre ellos es siempre constante) y sus intersecciones con la superficie topográfica son las curvas de nivel.

Si se unen mediante una línea todos los puntos de igual cota (ubicados en el mismo plano secante), se obtiene una curva de nivel. Luego esas curvas se proyectan al plano (carta) y se obtiene así una representación de la altimetría del terreno.

Se denominan curvas de nivel a las líneas imaginarias que unen en el plano los puntos de igual cota (es decir de igual altura).

Figura 48. Representación de la topografía mediante curvas de nivel

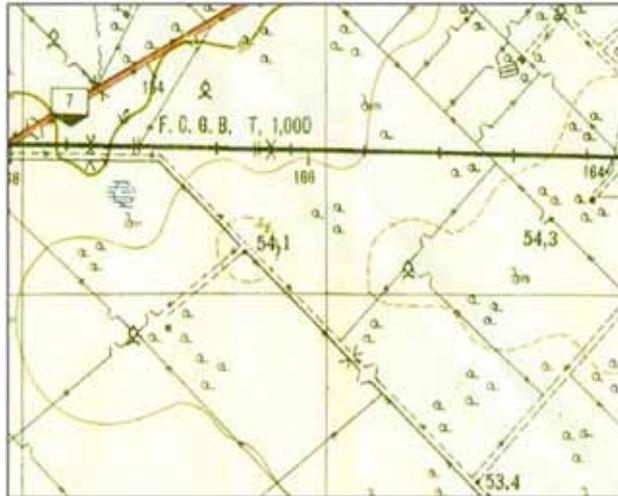


Fuente: www.ciens.ula.ve

Clases de curvas de nivel:

- **Curvas intermedias:** representan un valor unitario de variación constante de nivel entre curvas contiguas (equidistancia). Se dibujan como líneas delgadas y continuas.
- **Curvas principales:** Se dibujan a diferencia constante de altitud y se representan como líneas gruesas continuas. Entre dos curvas principales hay tres intermedias. Por ejemplo: Si la equidistancia en una carta es de 1.25 m, habrá una curva principal cada 5 m (1.25 m x 4) y una secundaria cada 1.25 m. Si la equidistancia es de 2.5 m, habrá una curva principal cada 10 m (2.5 m x 4) y una secundaria cada 2.5 m.
- **Curvas auxiliares:** Se utilizan excepcionalmente para representar relieve a escala local, que no alcanza la equidistancia establecida.

Un ejemplo de identificación de estos tipos de curva en un sector de una carta topográfica puede apreciarse en la figura 49.

Figura 49. Identificación de curvas de nivel

Las distancias a las que se sitúan los planos horizontales son las que determinan los intervalos verticales entre las curvas y se denomina equidistancia. El intervalo o equidistancia se elige en función de la escala del plano o mapa y de la naturaleza del terreno, según las pendientes del mismo.

Según el Instituto Geográfico Nacional, las equidistancias más usadas en la confección de cartas topográficas son nueve:

1. Equidistancia 0,5 la curva principal será cada 2.5 metros
2. Equidistancia 1.25 la curva principal será cada 5.0 metros
3. Equidistancia 2.5 la curva principal será cada 10.0 metros
4. Equidistancia 5.0 la curva principal será cada 20.0 metros
5. Equidistancia 10.0 la curva principal será cada 50.0 metros
6. Equidistancia 25.0 la curva principal será cada 100.0 metros
7. Equidistancia 50.0 la curva principal será cada 250.0 metros
8. Equidistancia 100.0 la curva principal será cada 500.0 metros
9. Equidistancia 250.0 la curva principal será cada 1000.0 metros

La elección de la equidistancia depende de dos factores:

- **relieve**

Según el IGM (1997) "(...) una carta topográfica (muestra) la modalidad altimétrica de los distintos terrenos y cada sector de terreno presenta distintas características en ese sentido. Su estudio mostrará la equidistancia a elegir para que no resulte exagerada o deficiente"

- **escala de dibujo**

El IGM (1997) indica que "las variaciones de pendiente son detalles altimétricos y éstos (...) deben ser reproducidos en la carta siempre que sean compatibles con la escala (...) una vez reconocido el terreno, se elegirá la equidistancia que, con el menor número de curvas de nivel represente las formas del terreno más características, dentro de la capacidad de la escala".

2.2b Secciones y perfiles

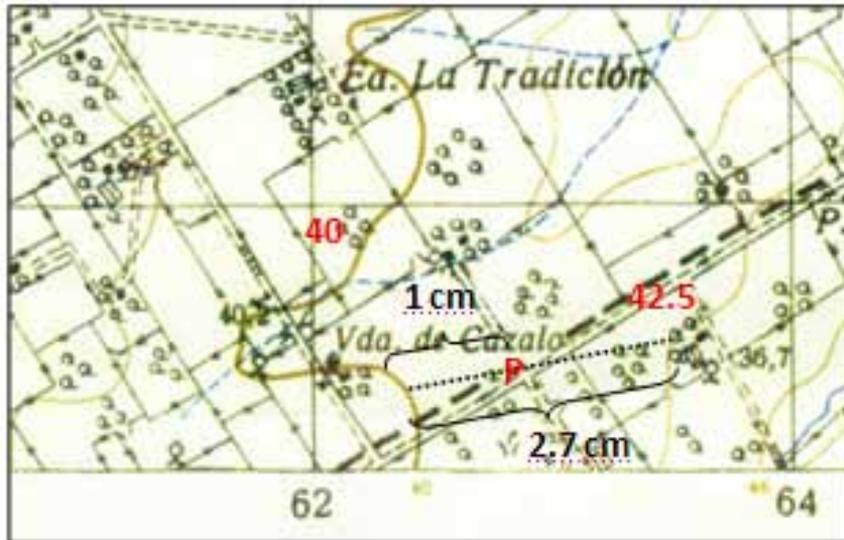
En referencia a las secciones (o perfiles), la Real Academia Española en su 5ª acepción dice: "Geom. Figura que representa un cuerpo cortado real o imaginariamente por un plano vertical." (RAE)¹⁰

Los perfiles topográficos son cortes del terreno realizados para obtenerla imagen equivalente a la morfología general real (Fig 51).

La sección también es un perfil porque se obtiene de la misma manera, pero agrega símbolos geológicos que marcan dónde cambian las capas y las características estructurales.

Según Monkhouse y Wilkinson (1968) "los términos sección y perfil, se emplean con poca precisión y mucha confusión. El sentido literal de una sección es un corte o la superficie visible debida a dicho corte, y el término se emplea sólo adecuadamente cuando se presenta la estructura geológica. Un perfil, por otra parte, es un bosquejo producido cuando el plano de una sección corta la superficie del suelo".

¹⁰ http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=cultura) accesado el 10 de julio de 2009.

Figura 50. Cálculo de cota de un punto

Fuente: IGM. Hoja 3560-11-1. San Andrés de Giles. Escala 1:50.000.
Equidistancia 2.5 m

Elaboración de perfiles topográficos

Para elaborar un perfil se elegirá como escala vertical aquella que sea diez veces mayor que la escala horizontal; y como escala horizontal se tomará la escala de la carta (si la distancia elegida y el papel disponible lo permiten).

Así, por ejemplo, en una zona de llanura: para una escala de la carta de 1:50.000 la escala horizontal será la misma y la vertical de 1:5.000 y para una escala de 1:100.000 la escala horizontal será la misma y la vertical 1:10.000.

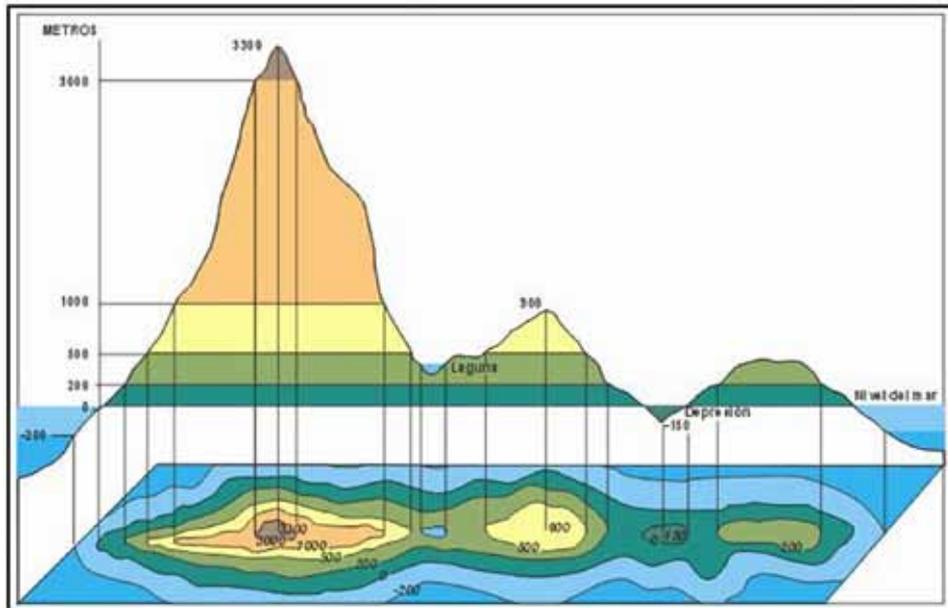
La exageración de la escala vertical dependerá del uso que se le quiera dar al perfil. Si se quiere representar una zona montañosa, para apreciar las secciones geológicas no es conveniente exagerar demasiado el perfil, ya que se puede alterar el espesor de las mismas. Por otro lado, para las zonas llanas, la exageración debe ser mayor, para que se puedan visualizar los detalles característicos de la topografía.

“En los perfiles se anota la escala horizontal y la vertical, y a veces el valor de la exageración vertical, que no solamente aumenta el relieve sino

que también altera la forma de este último” (Raisz, E.; 2005)

En el eje X se marcarán las distancias horizontales, y en el Y las distancias verticales correspondientes.

Figura 51. Ejemplo de perfil



Fuente: IGM, 2001

Capítulo 3. Cartografía Temática

3.1 Generalidades

En los mapas temáticos se representan las principales características de un fenómeno específico sobre un espacio determinado. Su reproducción debe ser de fácil interpretación y es necesario que estén confeccionados por personas vinculadas a la temática que en ellos se expresa (Joly, F; 1982).

Para la construcción de los mapas temáticos tiene que existir, en primer lugar, una clara información sobre el espacio geográfico, particularmente, su configuración topográfica (curvas de nivel, hidrografía, etc) en un mapa base.

El mapa base es uno de los principales componentes del mapa temático. En él se muestran los límites de la zona de interés y las características topográficas más significativas.

Como el mapa base es funcional al mapa temático, hay que prestar particular atención tanto en el nivel de definición de los elementos que va contener, como en la proyección utilizada y la escala elegida.

La escala en que se realiza el mapa base depende de la información temática que se aplicará sobre el mismo. La escala del mapa base está condicionada por el grado de detalle que requiere el tema a representar. Es poco conveniente que la base tenga información excesiva, para que pueda leerse con claridad lo que el mapa temático representará.

Además del mapa base, se encuentra la información temática con la distribución geográfica de las diferentes variables. Para su construcción existen normas que regulan el uso del color.

En los mapas temáticos se representan datos de tipo cualitativo y cuantitativo. Los datos cualitativos pueden ser puntuales, definiendo la naturaleza y localización de la información. Los datos también pueden ser representados en forma lineal y/o areal, estos últimos representados por polígonos. En los primeros se muestra información acerca de temas

tales como vías de circulación, transporte, etc. Los de superficie hacen referencia a las características cualitativas de un área, como podría ser la vegetación.

Los datos cuantitativos muestran aspectos espaciales de datos numéricos. No siempre la información obtenida para su representación es generada directamente por el investigador. "Alguna información requiere medios materiales de investigación, de transmisión o de tratamiento que sólo pueden ser de tipo colectivo; mucha de ella es realizada, reunida y publicada por los servicios públicos; otro tanto por organismos u oficinas privados" (Joly, F; 1982).

Otros elementos que aparecen en los mapas temáticos son: los títulos, subtítulos, fuentes, fechas de recolección de datos, leyendas, escalas, orientación, cuadros, localización de zonas, textos y anotaciones necesarias.

Para la confección de un mapa base se pueden utilizar otros mapas como fuente. Se adapta la información de mapas que están en otra escala, pero rara vez son realizados con levantamientos a campo.

3.2 Mapa base y mapas temáticos

3.2a Mapa base

Para la construcción de un mapa base se necesita realizar operaciones de carácter topográfico (planimetría y altimetría) y operaciones de tipo cartográficas, tales como los trabajos preliminares y de redacción cartográfica (referencias, coordenadas, hidrografía, relieve y toponimia). Se necesita también documentación bibliográfica y cartográfica, observación en el terreno, fotografía aérea y teledetección, estadísticas, datos cuantitativos y la preparación de impresión (diseño de la hoja para que los datos representados sean claros y legibles).

3.2b Mapas temáticos

Un mapa temático es todo mapa cuya finalidad es distinta a la puramente topográfica. La elaboración de un mapa temático lleva un proceso de memorización, razonamiento y presentación, con el objetivo de tener una clara interpretación y lectura instantánea de la información.

Existen tres variables que se perciben de forma simultánea, dos pertenecen al plano (localización x e y), la tercera se refiere a la característica del símbolo que es el componente de cualificación.

Como la imagen cartográfica no puede tener más de tres componentes, se deben crear tantas imágenes como componentes de cualificación haya.

El proceso cartográfico consiste en la definición del tema, el establecimiento de objetivos, la recolección de información, la determinación del tipo de documento cartográfico y priorización de niveles de lectura, el establecimiento de la escala y concepción del mapa base, la determinación de niveles de medición, la selección y clasificación de la información, la definición del título y la leyenda, la planificación gráfica del diseño, la definición de los componentes de la semiología gráfica, la selección de los procedimientos para la representación gráfica y finalmente la interpretación gráfica y verificación del grado de eficacia.

3.3 Teorías de Representación

3.3 a Componentes de cualificación

Los principales componentes de cualificación son: la superposición y la yuxtaposición. En los primeros, pueden superponerse tanto polígonos, como líneas o puntos, todos ellos mostrando espacialmente la existencia de un fenómeno determinado.

La superposición se emplea para combinar información de distintos temas y analizar posteriormente acerca de la distribución conjunta de

algunos atributos¹¹. Este modo de representación entonces, consiste en la "superposición" de varias imágenes sobre un mismo mapa (Joly, F; 1982) En el ejemplo que se muestra en la figura 52 se observa la superposición de tres variables puntuales diferentes. Dichas variables podrían estar mostrando un fenómeno particular, como lo es la concentración de comercios, servicios y equipamiento en un determinado sector. De este modo, estaría indicando la existencia de un área de centralidad.

Figura 52. Superposición (partido de San Miguel)



La yuxtaposición, sin embargo, consiste en la sucesión de varios mapas donde cada uno constituye una imagen. Es una combinación o asociación de variables en la que por ejemplo aparecen el relieve, la hidrografía, la infraestructura vial y los centros urbanos.

En la figura 53 el mapa posee diferentes variables, que al yuxtaponerlas constituyen una imagen. Allí se utiliza como mapa base el Municipio de San Miguel y se yuxtaponen las capas de información que representan distintos comercios, servicios y equipamientos locales.

¹¹ Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (www.ambiente.gov.ar) 2007.

Figura 53

Es importante tener en cuenta cuáles son las características de la información y su cantidad, para elegir la manera en que será representada.

3.3 b Variables visuales

Para representar una variable areal, se utilizan las coordenadas x e y (las dos dimensiones en el plano). Si tuviera que representarse una tercera dimensión correspondiente a otra variable, entonces se apelaría a las llamadas variables retinianas (Joly, F; 1982), que son las siguientes:

La forma o símbolo:

El símbolo es la "representación gráfica de un objeto sin una implantación rigurosa" (Joly, F; 1982), el cual puede ser abstracto y universal.

Muchas veces un mismo símbolo puede representar varias entidades del mismo rubro (podría ser el caso de un hospital y una farmacia). Deben ser claros, legibles y puede ser que estén representados por un punto, una línea o una zona. El tamaño que posee define la proporcionalidad, aunque es la variación del tono la que mejor muestra una clasificación.

Existen variadas clases de símbolos: el signo convencional, que es un esquema centrado en una posición real en el mapa; el signo simbólico, del cual se define fácilmente su posición; el pictograma, que es de comprensión sencilla; el ideograma, que representa una idea; la trama, que es la repetición de un elemento gráfico y el símbolo proporcional, cuyo tamaño

varía con el fenómeno que es representado.

De acuerdo a la forma, el cartógrafo puede cualificar cada objeto y establecer relaciones de similitud o semejanza entre ellos (Fig. 54).

Figura 54. La forma (diferentes símbolos)



Fuente: LabSIG, UNGS.

En las implantaciones lineales será necesario distinguir el tamaño y el color. Es importante tener en cuenta el espesor de las líneas elegido, ya que entre ellas existirá un espaciado determinado. Las líneas pueden ser representadas como vectores, dando de esta manera al lector una idea de orientación.

La línea y el punto adquieren relevancia sólo cuando se les otorga un color y espesor apropiado.

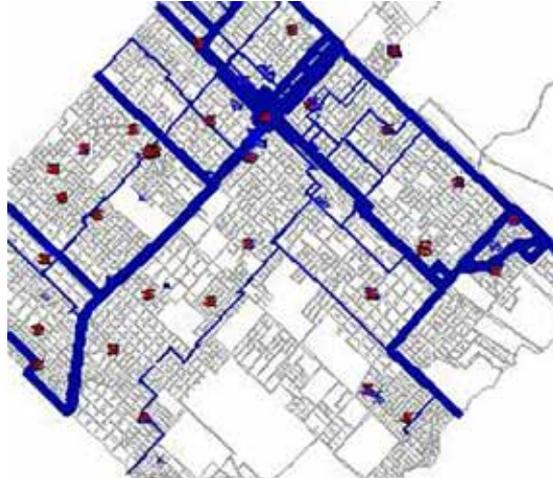
En el caso de las superficies influirá el tipo de cualificación elegido, utilizándose habitualmente el grano, el color y el tono.

El tamaño:

Se relaciona con la variable que representa el símbolo. Variar el tamaño del símbolo tiene relación con la variación del valor de la variable que

representa. Por lo tanto, el tamaño del signo debe ser proporcional al valor de variable que quiere representar (Fig. 55).

Figura 55. El tamaño

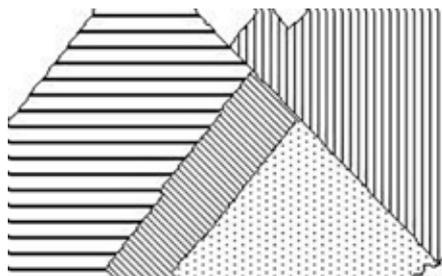


Fuente: LabSIG, UNGS.

La orientación:

La variable puede representarse con el trazo de líneas verticales, horizontales o inclinadas, hacia uno u otro lado (Fig. 56). Es utilizada como sustituto del color y resulta una buena variable selectiva. Los grafismos utilizados pueden ser líneas, puntos, formas, etc.

Figura 56. La orientación



Fuente: LabSIG, UNGS.

El color:

Es una variable significativa y puede ser usada en cualquier tipo de

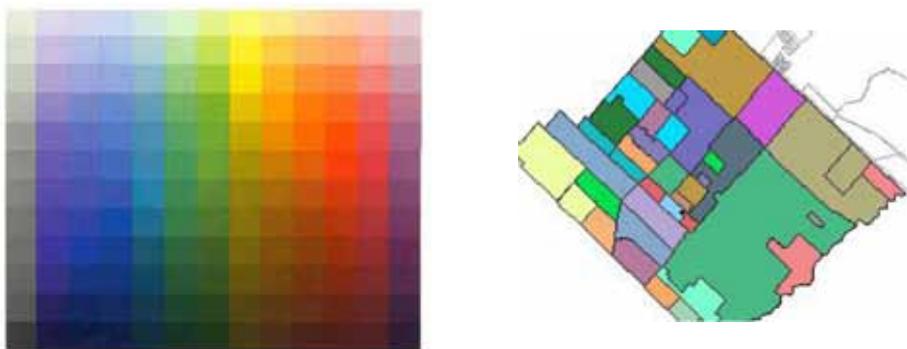
implantación. Para su aplicación existen convenciones de colores. Podría señalarse el caso en que para la representación de mares y ríos se opta por el color azul, para los bosques se usa el verde, y el ocre para el relieve, etc.

Sin embargo, si se desea representar de forma cuantitativa un dato, entonces debería agregarse otra variable a la del color, como por ejemplo el tamaño del grano.

El color es una herramienta muy importante, que facilita la legibilidad pero que a la vez exige una buena técnica, puede emplearse el gradiente de colores o usarse colores complementarios. Para su elección hay que prestar especial atención en: la finalidad del mapa, la complejidad de la información a representar, cómo será difundido y el costo que esto implica.

Es muy importante reflexionar sobre los colores y tonalidades que serán utilizados en relación a la cantidad y calidad de la información que será representada, para que no se saturen rápidamente las opciones. La paleta de colores que se muestra en la figura 57 da cuenta de las particularidades que se están mencionando.

Figura 57. El Color



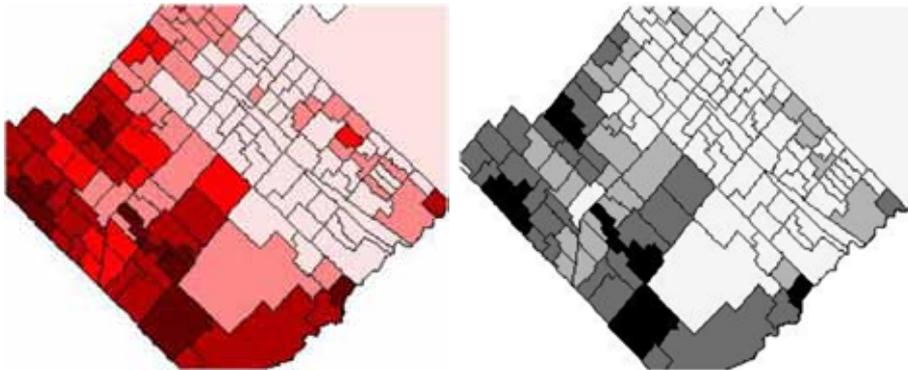
Fuente: LabSIG, UNGS.

El valor o tono:

Agregar blanco o negro al color original significa darle valor a la variable

(Fig. 58). El gradiente de tonalidades es una buena opción para clasificar. Se debe prestar especial atención cuando se ponen colores demasiado similares, porque no permite diferenciar claramente una categoría de otra. Se puede generar confusión al momento de interpretar la información.

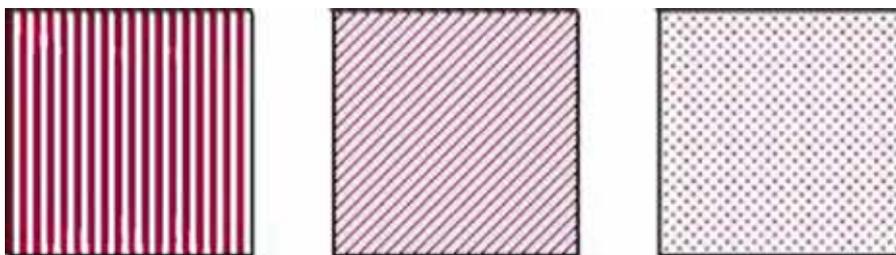
Figura 58. El valor o tono (distintos tonos de rojo y escala de grises)



Fuente: LabSIG, UNGS.

Otra forma de indicar mayor o menor intensidad es el uso de diferentes tramas, aunque de fondo tengan el mismo color (Fig. 59).

Figura 59. Utilización de diferentes tramas.

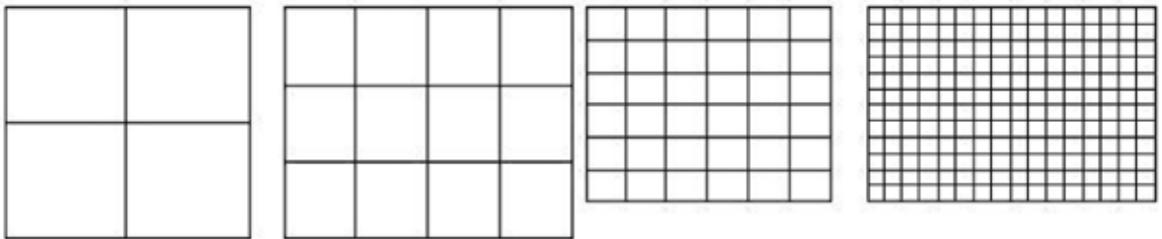


Fuente: elaboración propia

El grano:

En este caso, aunque el símbolo sea el mismo, es importante la variación respecto de la cantidad de veces que éste se repite en la superficie.

Figura 60 El grano.



Fuente: elaboración propia

Combinación de variables visuales:

En el cuadro extraído del libro de Fernand Joly (1982) figuran los tres modos de implantación (punto, línea y superficie) y las seis variables retinianas (forma, tamaño, orientación, color, valor y grano). cuadro 2. Esta clasificación se refiere básicamente a la disponibilidad gráfica que tiene el técnico para representar la información.

Cuadro 2. Combinación de variables visuales.

IMPLANTACIÓN	PUNTUAL	LINEAL	ZONAL
Forma			
Tamaño			
Orientación			
Color			
Valor			
Grano			

Fuente: Elaboración propia tomando como base cuadro de Fernand Joly, 1982

3.3c Figuras cartográficas: cartograma, cartodiagrama, anamorfosis geográficas

Existen otras figuras que representan áreas geográficas y no son mapas, ellas son:

Cartograma

El cartograma "es una representación discontinua de fenómenos cartográficos mensurables, en forma de figuras proporcionales, situadas sobre un fondo cartográfico eventualmente adaptado" (Joly, F;1982).(Fig. 61)

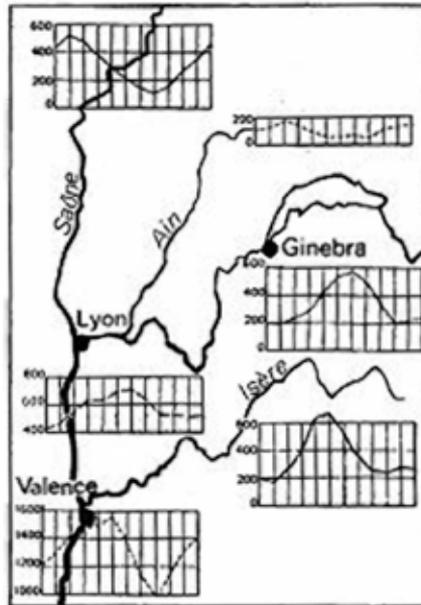
Figura 61. Cartograma



Fuente: Joly, F; 1982

Cartodiagrama

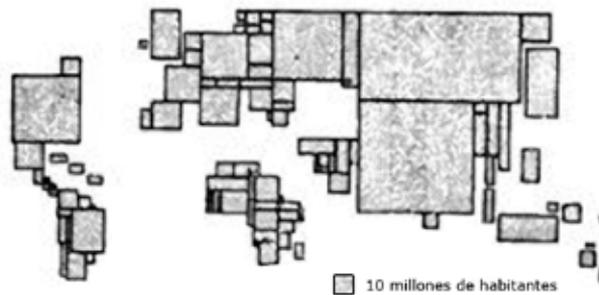
Está formado por diagramas de dos componentes sobre un fondo geográfico (Fig. 62).

Figura 62. Cartodiagrama

Fuente: Joly, F; 1982

Anamorfosis geográfica

Aquí se muestran exageradamente las diferencias de la variable. Como no aparece un componente geográfico, resulta difícil la identificación (Fig. 63).

Figura 63. Anamorfosis geográfica

Fuente: Starobinsky, 1984

3.3 d Límites de percepción

Existen dos tipos de limitaciones vinculadas a la capacidad que debería tener el receptor de comprender la información graficada.

- Capacidad de graficación
- Capacidad selectiva del ojo humano

Por un lado existe un límite en cuanto a la graficación, en la que no puede existir una modulación menor a 0.2mm, para que se pueda distinguir una línea de otra o un símbolo de otro.

Por otro lado, el límite lo impone el ojo humano con su propio poder separador en la percepción visual.

La proximidad de los símbolos es un elemento muy importante al momento de graficar. Pueden estar más próximos cuando son signos que poseen la misma forma. El tamaño depende del número de imágenes que habrá, ya que tienen que ser grandes cuando una figura combina varias imágenes. La disminución en el tamaño del símbolo promueve la confusión en la forma del contorno.

Lo que más impacta a primera vista de una imagen cartográfica es la impresión de conjunto que genera. La forma, el color, la distribución de las masas, la combinación de símbolos, su agrupación y cada símbolo en particular.

Los niveles de lectura según, Fernand Joly, se vinculan a la escala en que es estudiado el fenómeno. Estos niveles son:

- observación de cada signo.
- observación global de toda la información.
- observación de agrupaciones intermedias a nivel de comparación.

3.4 Cualidades de un buen mapa

3.4a Precisión, expresión, legibilidad y eficacia

Un mapa tiene que ser preciso, esto significa que debe tener el mínimo de errores, lo cual dependerá de la ubicación y el trazado de los diferentes

elementos gráficos.

Tiene que ser expresivo, lo que quiere decir que la sugerencia gráfica de cada objeto debe estar bien elegida, ya que es la parte más importante de la cartografía temática.

Tiene que ser legible, lo cual significa que el documento no tiene que estar sobrecargado de información, para que pueda comprenderse.

Tiene que ser eficaz, ya que "el valor de un mapa depende del tiempo mínimo necesario para extraer de él la mayor información" (Joly, F;1982).

3.4b Leyendas y título

Las leyendas y títulos facilitan el buen uso del mapa. La leyenda es la que debe ayudar a percibir rápidamente tanto objetos como hechos (igual a un índice de temas de un texto), contribuyendo de esta manera al análisis y conocimiento de las fuentes de información y métodos de levantamiento de la misma.

3.4c Rótulos e información adicional

El texto es un elemento fundamental para brindar información sobre el mapa, aunque debe utilizarse con discreción para no opacar el resto de la información existente en el mismo. El texto se encuentra definido por: la forma, orientación, tamaño, espesor y separación de las letras. También es indicativo de puntos y en ese caso tiene que escribirse por debajo de éste. Si tuviera que identificar una línea, entonces el texto irá escrito por encima de ella y sobre el lado izquierdo. En el caso que se tratara de una zona, el texto se coloca centrado.

Existe información extra que se ubica fuera del propio mapa, como por ejemplo: el marco, datos sobre la cuadrícula, datos de longitud y latitud, el sistema de proyección, la escala numérica y gráfica, la leyenda o explicación de los símbolos que son adoptados, el título y tema que identifican el mapa.

3.4d Elevación

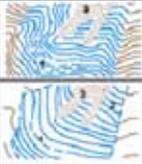
Cuando se trata de una implantación zonal o lineal, este dato puede representarse en elevación. Así, se elevan los bloques o líneas considerados. Sin embargo, cuando se trata de una información puntual, se usan diferentes volúmenes porque el fin es didáctico y no de precisión, por lo que no es necesario que se encuentre en una ubicación exacta.

3.5 Signos cartográficos del Instituto Geográfico Nacional (IGN)

En nuestro país, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) es el organismo rector en la definición e implementación de las normativas específicas para la elaboración de la cartografía de base y temática.

A modo de ejemplo se presentan dos imágenes con la normativa específica para la representación de accidentes orográficos y las zonas de cultivos.

Figura 64. Representación de accidentes orográficos y zonas de cultivo

Nº	DENOMINACIÓN	ESCALA 1:25 000 1:50 000 1:100 000	ESCALA 1:250 000 1:500 000	ESCALA 1:1 000 000 Y MENORES	IMAGEN DEL SIGNO	DIMENSIONES (en mm)
73	NIEVE O HIELO PERMANENTE, VENTISQUERO, GLACIAR, PENITENTE 1) Con curvas figurativas 2) Con líneas de forma 3) Morena o morrena					
74	MACIZO ROCOSO, CUMBRE ROCOSA, ROCA O BLOQUE ERRÁTICO IMPORTANTE					
75	AFLORAMIENTO ROCOSO					

Nº	DENOMINACIÓN	ESCALA 1:25 000 1:50 000 1:100 000	ESCALA 1:250 000 1:500 000	ESCALA 1:100 000 Y MENORES	IMAGEN DEL SIGNO	DIMENSIONES (en mm)
89	TERENO PARA CULTIVO					
90	PLANTACIONES PERENNES					
91	VIÑEDO					

Fuente: http://www.ign.gob.ar/descargas/manuales/manual_de_signos_cartograficos.pdf

SECCIÓN II

LA TELEOBSERVACIÓN

Capítulo 1. El espectro electromagnético

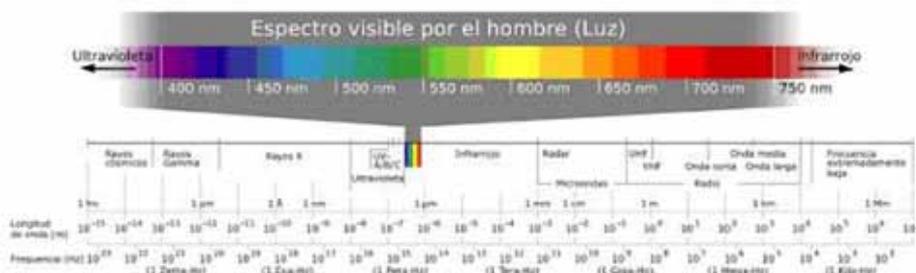
La tecnología de la percepción remota está relacionada con la identificación y determinación de las características inherentes a los recursos naturales, a través del análisis de medidas de los mismos tomadas a cierta distancia de éstos. (Raed, M; 1983).

Se basa en la teoría ondulatoria de la radiación electromagnética. En función de parámetros característicos como longitud de onda y frecuencia, se establecen bandas energéticas, cuya organización se denomina espectro electromagnético.

El espectro electromagnético es el conjunto de radiaciones de longitudes de onda¹² desde fracciones de micrones hasta varios kilómetros y puede dividirse en distintas regiones espectrales (Fig. 65). Partiendo de las ondas más pequeñas hasta las más grandes, se encuentran las regiones de los rayos gamma, rayos x, ultravioleta, visible, infrarrojo, microondas, ondas de TV y de radio. (Dominguez, 1983).

Las unidades de medida del espectro electromagnético son el Amstromg y los micrones para las ondas menores; y los centímetros y metros para las ondas mayores.

Figura 65. Espectro electromagnético



Fuente: <http://www-atmo.at.fcen.uba.ar/satellite/curso/satellite>

12 La longitud de onda es igual a la velocidad dividida por la frecuencia. En general, es la distancia media entre la máxima (o la mínima) de un modelo periódico aproximado. Específicamente, es la distancia menor entre las partículas que se desplazan en la misma fase de oscilación en una perturbación de onda. (Robinson, 1987)

Hay regiones donde la radiación electromagnética queda en la atmósfera y otras, denominadas ventanas atmosféricas, que dejan pasar la energía electromagnética hacia la superficie terrestre. Las ventanas permiten el desarrollo de la teledetección sin interferencias a excepción de la presencia de nubes.

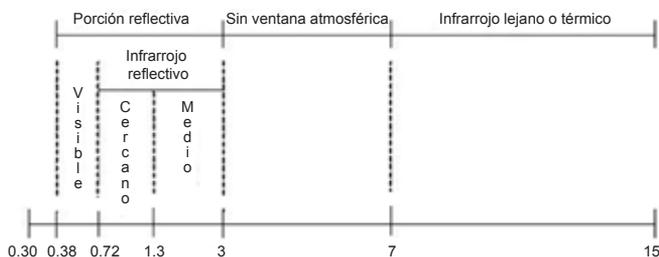
Las longitudes de onda (λ) de mayor interés en sensores remotos son las ópticas, las cuales se extienden desde 0.30 hasta 15 micrones (Fig. 63, esquema sin escala). La región del espectro entre 0.38 y 3.0 micrones se denomina porción reflectiva del espectro. La energía percibida en estas longitudes de onda es fundamentalmente radiación originada por el Sol y reflejada por los objetos en la Tierra.

A su vez, la porción reflectiva del espectro se divide en:

1. Visible entre 0.38 y 0.72 micrones.
2. Infrarrojo reflectivo entre 0.72 a 3 micrones, que incluye:
 - 2.1. Infrarrojo cercano: $\lambda = 0.72$ a 1.3 micrones
 - 2.2. Infrarrojo medio: $\lambda = 1.3$ a 3 micrones.

Entre 3 y 8 micrones no hay ventana atmosférica. Entre los λ 8 a 15 micrones se encuentra la longitud de onda del infrarrojo lejano o térmico.

1. El espectro visible está compuesto por una sucesión de colores:
 - Violeta: 0,38 a 0,45 micrones
 - Azul: 0,45 a 0,5 micrones
 - Verde: 0,5 a 0,57 micrones
 - Amarillo: 0,57 a 0,59 micrones
 - Naranja: 0,59 a 0,61 micrones
 - Rojo: 0,61 a 0,72 micrones
2. El espectro infrarrojo se divide en:
 - Cercano (solar): se encuentra el espectro infrarrojo reflejado, el cual es cercano al espectro visible (longitudes de onda entre 0.72 y 1.3 micrones).
 - Medio: longitudes de onda entre 1.3 y 3 micrones
 - Lejano o térmico: longitudes de onda entre 8 a 14 mic., hasta 1mm.

Figura 66. Longitudes de onda de mayor interés (en micrones)

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 3 se caracterizan las distintas regiones del espectro electromagnético en relación con su uso en sensores remotos.

Cuadro 3. Características de las regiones del espectro electromagnético.

REGIONES	LONGITUDES DE ONDA	CARACTERÍSTICAS
Rayos gamma	<0.03 nm	La radiación solar es absorbida por la atmósfera. No se usa en sensores remotos.
Rayos x	0.03 nm a 3 nm	La radiación solar es absorbida por la atmósfera. No se usa en sensores remotos.
Rayos ultravioleta	3 nm a 0.4 micrones	La radiación en longitudes de onda menores a 0.3 micrones es absorbida por el ozono.
Rayos ultravioleta fotográfico	0.3 a 0.4 micrones	Es detectable con películas pero hay una gran dispersión atmosférica.
Espectro visible	0.4 a 0.72 micrones	Usada en percepción remota y detectable con películas.
Infrarrojo reflejado	0.72 a 8 micrones	0.7 a 0.9 micrones es detectable con película fotográfica. Se usan otros instrumentos tales como barredores.
Infrarrojo térmico (emisivo)	8 a 14 micrones	La ventana de región térmica se obtiene con barredores ópticos y mecánicos.

Microondas	0,3 a 300 cm	Penetra nubes y bruma y es muy usado en regiones tropicales.
------------	--------------	--

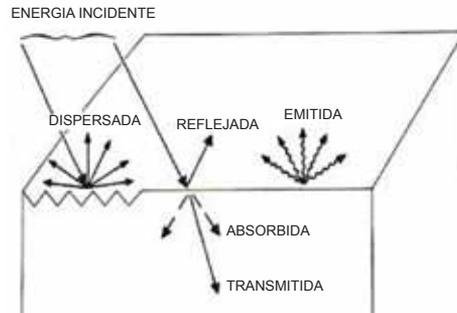
Fuente: Elaboración propia en base a Marlenko, 1987

La energía que llega a la superficie terrestre es función de:

- Hora del día
- Época del año
- Latitud geográfica
- Condiciones meteorológicas
- Refracción producida por partículas atmosféricas
- Absorción de gases atmosféricos
- Inclinación de la superficie receptora de energía

Cuando llega a la superficie, parte de la energía es absorbida y parte reflejada y ésta es la que llega al sensor. De esa energía reflejada, parte es dispersada por las nubes. La cantidad de energía absorbida y reflejada va a depender de las características del objeto. También incide la superficie (si es lisa o rugosa). En terrenos planos o con agua, la reflexión se llama especular (en ángulo recto). Al ser más irregular el terreno, se llama difusa (Fig. 67).

Figura 67. Diferentes comportamientos de la energía incidente en la superficie terrestre



Fuente: <http://www-atmo.at.fcen.uba.ar/satelite/curso/satelite>

Reflectancia

Las curvas de reflectancia o firma espectral miden la cantidad de energía reflejada, que depende estrictamente de su composición química; representa una característica particular de cada objeto, como la huella digital en las personas.

Reflectancia de los suelos

La determinación de la reflectancia depende del tipo de suelo, la rugosidad de la superficie, el ángulo solar y el contenido de humedad.

- Los suelos semidesérticos y desérticos con alto contenido de cuarzo tienen alta reflectancia.
- Los suelos con alto contenido de materia orgánica (ácidos húmicos y fúlvicos) tienen menor reflectancia y mayor absorción de energía.
- Los suelos arenosos (cuarzo) tienen mayor reflectancia que los arcillosos.

Reflectancia de la vegetación

Depende de las características morfológicas de la misma, es decir la fisiología vegetal, del estado de madurez, el ángulo solar, la sensibilidad a la película o sensor utilizados.

Capítulo 2. La teleobservación y los sensores remotos

La teleobservación, teledetección o percepción remota es una técnica para obtener a distancia información referida a cada objeto sobre la superficie terrestre. Se basa en la detección de las variaciones de absorción, reflexión y emisión de ondas del espectro electromagnético y en distintas longitudes de onda, específicas para cada objeto. El análisis de los datos de teleobservación se funda en tres principios generales:

- La imagen obtenida es una representación objetiva de un paisaje en un instante dado.
- Este paisaje está compuesto por elementos heterogéneos.
- La cantidad y calidad de la información que es posible extraer de los datos de la teleobservación está en función del grado de conocimiento, experiencia e interés del analista, así como de los métodos utilizados.

2.1 Los sensores remotos

2.1a Generalidades

Se denomina sensor remoto a todo aquel sistema de observación por el cual, mediante el uso de diversos instrumentos creados al efecto, es posible proveer información sobre hechos y objetos que no se encuentran en contacto directo con el sensor. Puede captar información del espectro electromagnético, dentro y fuera de las bandas visibles. Estas características especiales analizadas correctamente posibilitan distinguir los objetos entre sí y obtener datos relativos a su forma, tamaño, distribución espacial, propiedades físico-químicas y evolución temporal.

Los sensores remotos reciben de la superficie terrestre o por debajo de la misma, la radiación electromagnética dentro de una cierta gama de longitudes de onda. Luego la transforman en una señal que permite la decodificación de la información para presentarla en modo legible para el

intérprete en forma de imagen o fotografía.

Los sensores remotos se ubican en vehículos llamados plataformas, de las cuales las más utilizadas son los aviones, globos, cohetes, sondas y vehículos espaciales como los satélites, siendo éstos los descritos en este manual por ser los más utilizados actualmente con fines científicos, académicos y comerciales.

2.1b Tipos de sensores

Los sensores remotos pueden ser activos o pasivos.

Activos: disponen de una fuente de energía propia para emitir radiación electromagnética, la cual es posteriormente recuperada a fin de determinar las características especiales de los objetos detectados (Domínguez, O., 1972). Algunos ejemplos de sensores activos son: el LIDAR, que utiliza luz láser (sin dispersión) y el radar, con fuente propia de energía que detecta microondas, comprendiendo entre 0.1 a 1 cm (pasivas) y 1 a 10 cm (activas).

Pasivos: la fuente de energía que perciben es solar, detectan la energía emitida o reflejada por el objeto de interés. En estos casos se verifica pérdida de la energía electromagnética, ya que al chocar con las nubes una parte de la misma es retrodispersada, otra es absorbida y sólo otra es la que finalmente llega a la superficie. Algunos ejemplos de sensores remotos pasivos son: las cámaras fotográficas y los barredores multiespectrales.

2.2 Los satélites

2.2a Generalidades

Antes de comenzar a explicar detalladamente las características de los satélites de recursos naturales y meteorológicos y los sensores que llevan a bordo, es necesario hacer una breve introducción al concepto de satélite, término que según la Real Academia española proviene del latín *satelles*,

-itis y en Astronomía se aplica a cualquier "cuerpo celeste opaco que sólo brilla por la luz refleja del Sol y gira alrededor de un planeta primario". Otra acepción del término la constituye la que nos ocupa en este manual y que se refiere a los satélites artificiales, los cuales, según la misma fuente, se aplican a cualquier "vehículo tripulado o no que se coloca en órbita alrededor de la Tierra o de otro astro, y que lleva aparatos apropiados para recoger información y retransmitirla". En tal sentido, los satélites artificiales utilizados tienen una serie de características que se explica.

Parámetros orbitales

La órbita de los satélites puede ser:

- geoestacionaria, giran con el globo terráqueo y se sitúan sobre el Ecuador. Tal es el caso de los satélites meteorológicos GOES, y/o
- polar, los cuales tienen una órbita N-S, pasando en las proximidades de ambos polos. Tal es el caso de los satélites de recursos naturales y los meteorológicos como el NOAA.

En este último caso, una parte de la órbita es activa (donde obtienen información) y otra es pasiva (donde no obtiene información), siempre dependiendo del tipo de sensor que se trate.

- Durante el día dan una vuelta completa entre 90 y 110 minutos.
- Para pasar nuevamente por la misma órbita necesitan entre 1 y 20 días, dependiendo del tipo de satélite.
- La altura sobre la superficie de la Tierra varía entre 400 y 919 km.
- El rango de cobertura de información geográfica se desarrolla entre los 82° de latitud Norte y 82° de latitud Sur.

Resolución de los sensores¹³

Resolución espacial

La resolución espacial es el poder de resolución que necesita un instrumento para discriminar los objetos, basado en el tamaño y altitud del sensor y el largo focal, y se mide a través del píxel.

El píxel es el área del terreno u océano cubierta por el campo visual de

¹³ <http://www.agriculturadeprecision.org/percrem/PercepcionRemota.htm>

un determinado sensor. La resolución espacial varía según los sensores de cada satélite, tal como se describirá más adelante en este manual.

Resolución espectral

Se refiere a la capacidad de los sensores de identificar y diferenciar la radiación electromagnética de distintas longitudes de onda. Es una medida de la sensibilidad de un sensor para detectar una longitud de onda particular.

Resolución radiométrica:

Se refiere al número de niveles digitales que se utilizan para representar la información tomada por el sensor. A mayor número de niveles, mejor nivel de detalle de la información representada.

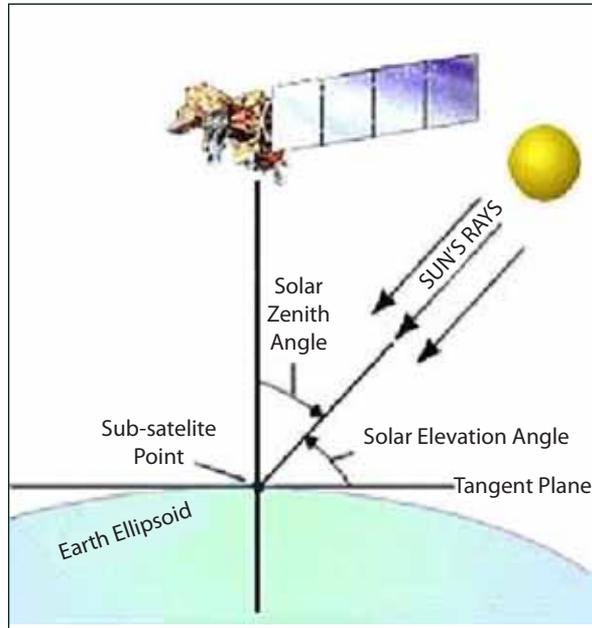
Resolución temporal:

Se denomina así al período de tiempo que le lleva al satélite pasar por la misma escena a capturar. Esta resolución varía en función de la plataforma.

Factores determinantes de la calidad de las imágenes satelitarias

Elevación solar

Los cambios en el ángulo de elevación solar causan variaciones en las condiciones de iluminación bajo las cuales se obtiene la imagen satelitaria. Estos cambios se deben, principalmente, a la posición estacional N-S del sol en relación a la Tierra (Fig. 68).

Figura 68. Ángulo de elevación solar

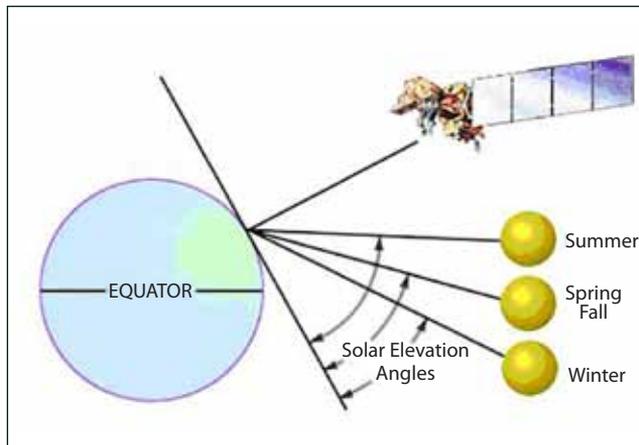
Fuente: www.gsfc.nasa.gov

Por otro lado, los efectos de las variaciones en los ángulos de elevación solar en una escena determinada, son muy dependientes del área en sí misma. La reflectancia de la arena es significativamente más sensible al ángulo de elevación solar que la mayoría de las especies vegetales.

Los efectos atmosféricos también afectan la cantidad de energía radiante que recibe el sensor del satélite y también puede variar a lo largo del año (Fig. 69).

En función de estos factores, cada escena debe ser analizada individualmente para determinar el rango de ángulos de elevación solar permitidos para obtener imágenes satelitarias de alta calidad.

Figura 69. Efectos de los cambios estacionales en el ángulo de elevación solar



Fuente: www.gsfc.nasa.gov

Dependiendo del área geográfica de toma de la escena, puede ser posible o no obtener una imagen apropiada con ángulos bajos de elevación solar. Con un ángulo de elevación solar mayor que 30° , se espera obtener una imagen de alta calidad. Para el caso del satélite Landsat 7, por ejemplo, no se procesan imágenes con ángulos de elevación solar inferiores a 15° .

Además de los efectos de variabilidad geográfica de las escenas, el ángulo de elevación solar en sí mismo es afectado por un gran número de agentes perturbadores sobre la órbita del satélite. Estos incluyen fuerzas atmosféricas y la fuerza de gravedad del sol. Tienen efectos que, para muchas de las aplicaciones de las imágenes satelitarias, pueden ser considerados como menores.

Aplicaciones

Algunas de las principales aplicaciones de los sensores son:

- **Hidrología:** mapas de áreas favorables para la exploración de aguas subterráneas, diseño del drenaje hídrico superficial de una región, paleocauces, paleomárgenes de cuerpos lacunares, estudio de inundaciones en grandes llanuras. El estudio sistemático de los procesos de anegamiento y/o inundación permite estratificar áreas

con distinta frecuencia de anegamiento. Este conocimiento permitirá orientar la producción agropecuaria hacia actividades compatibles con el riesgo establecido. El estudio de áreas susceptibles de inundarse permite conocer cuáles son las áreas donde no es conveniente la instalación de poblaciones en forma permanente.

- **Oceanografía:** estimación de la productividad primaria, clasificación, gestión y manejo de manglares, contaminación.
- **Meteorología:** imágenes GOES en el reconocimiento de tormentas en Argentina, AVHRR en la confección de un mapa de isotermas.
- **Geología:** SPOT para la prospección de minerales, información geológica de SPOT-HRV, LANDSAT TM, lineamientos estructurales.
- **Agronomía:** estimación de áreas sembradas por cultivos, mapeo de áreas agrícolas irrigadas, AVHRR-NOAA, para calcular índice verde, rendimiento de cultivos y relación con excesos hídricos, estimación de erosión hídrica, relevamientos forestales, inventario y ordenamiento de bosques, identificación de áreas geográficas con especies forestales en vías de desaparición.
- **Cartografía:** restitución, sistemas de proyección, cartas aeronáuticas, cartas de imagen, catastro rural y urbano.
- **Urbanismo:** delimitación de áreas urbanas, usos del suelo urbano, historia de uso del suelo en una región, la expansión urbana en el uso de la tierra urbano-periurbano.

2.2b Satélites de recursos naturales

Satélites Landsat

Características

Desde 1972 el programa Landsat provee datos de toda la superficie terrestre con alta resolución espacial y espectral. Los mismos son utilizados para actividades comerciales, agropecuarias, académicas, investigación, gubernamentales, etc.

Este programa posibilitó mejorar el conocimiento de la superficie de la Tierra y del impacto de las actividades humanas en el medio ambiente. Los datos provenientes de estos satélites han sido utilizados en gran variedad de aplicaciones, como el manejo de tierras y aguas, investigaciones sobre cambio climático global, exploración mineral y petrolera, pronóstico de cosechas, monitoreo de contaminación, detección de cambios en la superficie terrestre y cartografía en general.

El satélite Landsat lleva varios sistemas de sensores remotos y sistemas de relevamiento de datos, con controles de altitud, subsistemas de ajuste de órbitas, comandos para recepción de datos de campo y transmisión de los mismos a las estaciones receptoras.

El primer satélite (Landsat 1) fue lanzado en 1972 con dos sensores a bordo, una cámara denominada Vidicom y un barredor multiespectral (MSS) con 80 metros de resolución espacial en el terreno. Los satélites Landsat 2 y 3, lanzados en 1975 y 1978 respectivamente, estaban configurados de modo similar que el Landsat 1. En 1984, fue lanzado el satélite Landsat 4 con el MSS a bordo y un nuevo instrumento denominado Mapeador Temático (TM). Este instrumento actualizado incluye mejoras en la resolución espacial, llevándola de 80 a 30 metros y agregando, además, 3 nuevos canales o bandas multiespectrales. El satélite Landsat 5, una réplica del Landsat 4, fue lanzado en 1984, y aún hoy sigue tomando datos de la superficie terrestre. En 1993 fue lanzado el Landsat 6, que contaba con una banda pancromática de 15 metros de resolución espacial, pero fue perdido poco tiempo después de su lanzamiento. En Abril de 1999 fue lanzado el satélite Landsat 7 (cuadro 4).

Cuadro 4. Resumen de características de los satélites Landsat

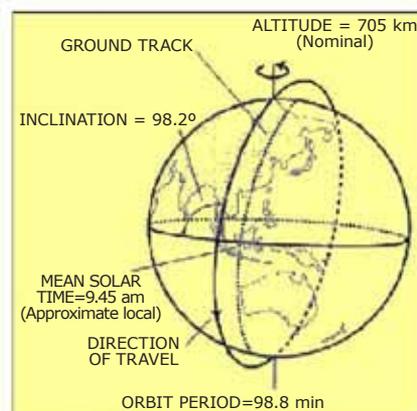
Sistema	Lanzamiento y finalización	Sensores que lleva a bordo	Resolución espacial	Altitud
Landsat 1	1972/1978	RBV MSS	80 80	917km

Landsat 2	1975/1982	RBV MSS	80 80	917km
Landsat 3	1978/1983	RBV MSS	30 80	917km
Landsat 4	1982	MSS TM	80 30	705km
Landsat 5	1984	MSS TM	80 30	705km
Landsat 6	1993/1993	ETM	15 30	705km
Landsat 7	1999	ETM+	15 30	705km

Fuente: elaboración propia en base a www.gsfc.nasa.gov

Los satélites Landsat son de órbita polar, se encuentran a una altura aproximada de 705 km de la superficie terrestre y toman datos de la misma escena cada 16 días.

Figura 70. Órbita del satélite Landsat



Fuente: www.gsfc.nasa.gov

Sensores que llevan a bordo de los satélites

Los satélites que actualmente se encuentran en funcionamiento (Landsat 4, 5 y 7) llevan a bordo los siguientes sensores: el barredor multispectral

(MSS: Multispectral Scanner), el mapeador temático (TM: Thematic Mapper) y el ETM (Enhanced Thematic Mapper).

- El MSS o barredor multispectral recopila datos tomando imágenes de la superficie terrestre en cuatro bandas espectrales, denominadas 4, 5, 6 y 7. La dirección de vuelo es N-S. En la imagen abarca un área geográfica de 185 km x 185 km. El espejo del sensor es oscilante, se mueve, toma el registro de la energía, la pasa a un prisma y de allí se divide en las cuatro bandas: 2 en el visible (verde: 0,5 a 0,6 micrones y rojo: 0,6 a 0,7 micrones) y 2 en el infrarrojo (0,7 a 0,8 micrones y 0,8 a 1,1 micrones). La resolución espacial es de 79 metros.
- El TM o mapeador temático provee información de la superficie terrestre en un rango mayor de bandas espectrales (7). La resolución espacial oscila entre 30 y 120 metros, dependiendo del canal.
- El ETM (Enhanced Thematic Mapper) tiene 8 bandas espectrales que cubren las regiones visible, infrarrojo cercano, onda corta e infrarrojo térmico del espectro electromagnético. El sensor es optomecánico, su resolución espacial es de 30 metros en las bandas 1 a 5 y 7, de 15 metros en la 8 (pancromática) y 60 metros en la banda 6 (termal). El rango espectral varía entre 0.45 - 12.5 μm , la repetitividad de la escena es de 16 días, el tamaño de la imagen es de 183 km x 170 km. La resolución espacial oscila entre 15 a 30 metros.

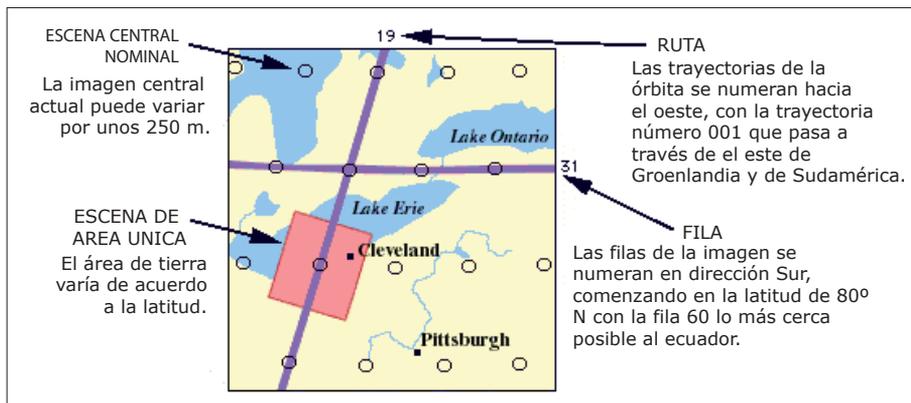
Sistema de referencia global

El Sistema de referencia global definido para los satélites Landsat 4 y 5 fue preservado para el Landsat 7. Comprende órbitas (paths) y cuadros o centros de escenas (rows) dentro de una grilla global, compuesta a su vez por 233 órbitas y 248 cuadros.

El término row se refiere a la línea latitudinal central que atraviesa la escena a lo largo de un determinado camino. Como el satélite se mueve a lo largo de una órbita, el sensor registra el terreno que se encuentra por debajo del sensor.

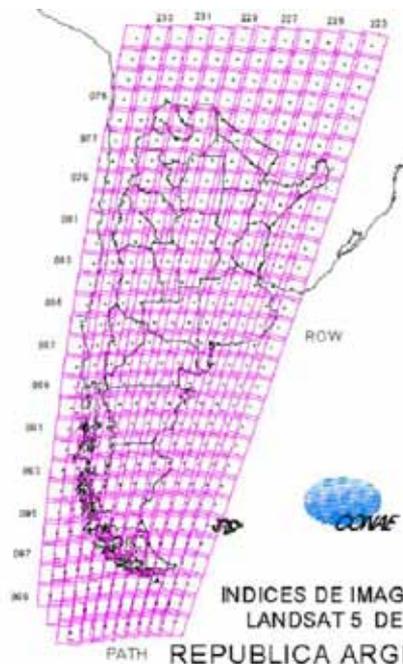
Los satélites Landsat no están ubicados en una verdadera órbita polar, sino casi polar, de modo que los números de órbita y cuadro no coinciden exactamente con las latitudes 90° (N/S). Figs. 71 y 72.

Figura 71. Sistema de referencia global



Fuente: www.gsfc.nasa.gov

Figura 72. Índice de imágenes Landsat de la República Argentina



Fuente: adaptado de <http://www.conae.gov.ar/catalogo/3502.gif>

Aplicaciones de los sensores de los satélites Landsat

Las aplicaciones de estos sensores se detallan en el cuadro 5

Cuadro 5. Aplicaciones de los sensores

Satélite	Sensor	Longitud de onda (micrones)	Resolución Espacial (metros)	Aplicaciones
Landsat's 1-2	RBV	(1) 0.48-0.57	80	Infraestructura urbana
		(2) 0.58-0.68	80	Suelos, caminos, cuerpos de agua
		(3) 0.70-0.83	80	Vegetación
	MSS	(4) 0.5-0.6	79	Penetración en cuerpos de agua, turbidez, nieve, sedimentos en el agua, infraestructura urbana, cuerpos de agua
		(5) 0.6-0.7	79	Estudios urbanos, infraestructura caminera y cuerpos de agua
		(6) 0.7-0.8	79	Vegetación y redes de drenaje
		(7) 0.8-1.1	79	Estudios de vegetación, caracterización de suelos, humedad de los mismos y contacto entre tierra y agua.
Landsat 3	RBV	(1) 0.505-0.75	40	Infraestructura urbana
	MSS	(4) 0.5-0.6	79	Infraestructura urbana, caminos
		(5) 0.6-0.7	79	Infraestructura urbana, caminos

		(6) 0.7-0.8	79	Vegetación, redes de drenaje
		(7) 0.8-1.1	79	Vegetación, identificación de biomasa
		(8) 10.4-12.6	240	Geología
Landsat's 4-5	MSS	(4) 0.5-0.6	79	Idem anterior MSS
		(5) 0.6-0.7	79	Idem anterior MSS
		(6) 0.7-0.8	79	Idem anterior MSS
		(7) 0.8-1.1	79	Idem anterior MSS
	TM	(1) 0.45-0.52	30	Penetración en cuerpos de agua, costas, diferenciación entre suelos y vegetación.
		(2) 0.52-0.60	30	Vegetación. Evaluación del vigor de crecimiento de las plantas.
		(3) 0.60-0.69	30	Vegetación. Gran absorción de la clorofila
		(4) 0.76-0.98	30	Biomasa. Delimitación de cuerpos de agua
		(5) 1.55-1.75	30	Contenido de humedad de los suelos y la vegetación. Se diferencia nieve de nubes
		(6) 10.40-12.50	120	Mapeo térmico. Contaminación orgánica
		(7) 2.08-2.35	30	Geología
Landsat 7	ETM+	(1) 0.45-0.52	30	Estudios urbanos
		(2) 0.52-0.60	30	Cuerpos de agua, sedimentos, suelos, infraestructura urbana

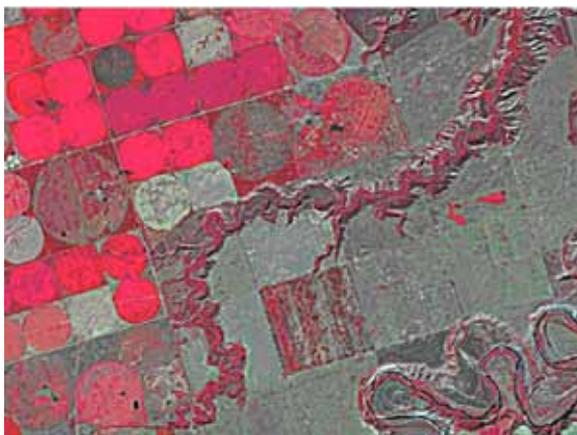
		(3) 0.63-0.69	30	Cuerpos de agua, sedimentos, suelos, infraestructura urbana
		(4) 0.76-0.90	30	Cuerpos de agua, sedimentos, suelos, infraestructura urbana
		(5) 1.55-1.75	30	Vegetación
		(6) 10.4-12.5	60	Geología
		(7) 2.08-2.35	30	Geología
		(Pan) 0.50-0.90	15	Estudios urbanos

Fuente: www.gsfc.nasa.gov

Satélite SPOT

Las características propias del sistema Spot son la alta resolución (Fig. 73), estereoscopía y repetitividad. Fue diseñado por la Comisión Nacional Espacial Europea y realizado e implementado por Francia en colaboración con Suecia y Bélgica.

Figura 73. Irrigación en la región de Lethbridge-Canadá. Spot5



2,5 metros de resolución.

Otras características se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Características técnicas del satélite SPOT

Resolución	2,5m
Precisión de localización	< 30 m RMS
Modos	Colores naturales 3 bandas
Sistema y datum	Sistema geográfico WGS 84
Formato de fichero	Dimap (Geo Tiff)
Datos	2006, 2005
Recorte	Zona de interés

Fuente: www.spotimage.fr

El sistema entró en actividad a partir de 1986, fecha en que se produjo el lanzamiento del primer satélite. En enero de 1990 fue lanzado el SPOT 2; en septiembre de 1993, el SPOT 3; en marzo de 1998, el SPOT4; y en mayo de 2002, el SPOT 5. La continuidad de este proyecto será llevada adelante por una nueva generación de mini satélites denominados Pléyades.

El satélite SPOT se encuentra a una altura aproximada de 800 km sobre la superficie terrestre, tiene órbita polar y pasa por la misma escena según programación expresa. Lleva a bordo el sensor ARV (Alta Resolución Visible), que tiene dos modos de funcionamiento en el espectro visible e infrarrojo cercano:

- Un modo pancromático (en blanco y negro, con una resolución espacial de 10 metros) correspondiente a una observación sobre una amplia banda espectral (0,51 a 0,78 micrones).
- Un modo multibanda (en color, con una resolución espacial de 20 metros) correspondiente a una observación sobre tres bandas espectrales más anchas (0,50 a 0, 59 micrones; 0,61 a 0,68 micrones; 0,79 a 0,89 micrones).

Aplicaciones

Una sola imagen Spot puede cubrir una zona de 3.600 km², dentro de una gama de resoluciones de 20 m a 2,5 m, con una precisión de localización

que supera a menudo los 30 m. Estas características son ideales para trabajos a escala regional o local de 1:100 000 a 1:10000. Los satélites Spot pueden ser programados para responder a requisitos temporales o geográficos. Las características de las imágenes Spot hacen de este satélite un referente cartográfico y son útiles en cartografía, defensa, planificación urbana, redes de telecomunicaciones, gestión de cultivos y la vigilancia del medio ambiente.

Satélite Aster

ASTER surge de la colaboración entre la NASA y el Ministerio Japonés de Economía Comercial e Industria (METI). Fue lanzado en Diciembre de 1999 con una órbita síncrona solar de 705 km de altitud. La periodicidad de repetición de su órbita es de 16 días.

Toma datos en 14 bandas, del visible al infrarrojo, y proporciona visión estereoscópica para la creación de modelos digitales del terreno.

ASTER está compuesto de 3 sistemas (VNIR, SWIR y TIR) que trabajan en los siguientes rangos:

VNIR (15 m):

- Banda 1: 0.52 - 0.60 μm
- Banda 2: 0.63 - 0.69 μm
- Banda 3: 0.76 - 0.86 μm

SWIR (30 m):

- Banda 4: 1.600 - 1.700 μm
- Banda 5: 2.145 - 2.185 μm
- Banda 6: 2.185 - 2.225 μm
- Banda 7: 2.235 - 2.285 μm
- Banda 8: 2.295 - 2.365 μm
- Banda 9: 2.360 - 2.430 μm

TIR (90 m):

- Banda 10: 8.125 - 8.475 μm
- Banda 11: 8.475 - 8.825 μm
- Banda 12: 8.925 - 9.275 μm

- Banda 13: 10.250 - 10.950 μm
- Banda 14: 10.950 - 11.650 μm

Satélite Indio IRS¹⁴

El satélite Indio IRS-1C fue lanzado en órbita polar en 1995 y comenzó a operar en Enero de 1996. Este satélite fue seguido por otro similar (IRS-1D), el cual fue lanzado en 1997 también en órbita polar, e inició su operación en Octubre de 1997. Su objetivo principal es proveer en forma sistemática y repetitiva datos de la superficie terrestre bajo condiciones de iluminación casi constantes. La escena de los satélites IRS es de 70 km x 70 km. Otras características se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Características del satélite Indio IRS

Satélite	Tiempo de Revista	Sensores
IRS-1C	24 días	PAN, LISS-III, WiFS
IRS-1D	25 días	PAN, LISS-III, WiFS

Fuente: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/satelite/irs.html>

En la figura 74 puede verse una imagen tomada por este satélite

Figura 74. Imagen de Kuwait, tomada con el sensor LISS-IV



Fuente: <http://www.imagenesgeograficas.com/IRS.html>

14 Fuente: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/satelite/irs.html>

Aplicaciones

- Usos agropecuarios del suelo
- Monitoreo de áreas de preservación de especies
- Cartografía y actualización cartográfica
- Proceso de urbanización
- Estimación de biomasa
- Monitoreo de la cobertura vegetal

Satélite QUICKBIRD

Es un satélite que toma imágenes con una resolución espacial de 0,61m (Fig. 75). Es una herramienta de gran utilidad para analizar cambios verificados en el uso del suelo, agricultura y clima.

Figura 75. Imagen de Houston (EEUU) tomada con el satélite Quick Bird



Fuente: <http://www.satimagingcorp.com/gallery/quickbird-houston-ig.html>

El satélite fue lanzado el 18 de Octubre de 2001 a bordo de una plataforma Boeing Delta II. La órbita es heliosincrónica, su altitud es de 450 km y su inclinación es de 97,2°. La velocidad que adquiere es de 7,1 km/

seg, el sentido de la órbita es descendente y su duración es de 93,5 minutos. El tiempo de revista es de 1 a 3,5 días (dependiendo de la latitud).

Resolución espacial

- Pancromático: 61 a 72 cm
- Multiespectral: 2,44 a 2,88 metros

Bandas espectrales

- Pancromático: 450 a 900 nm
- Azul: 450 a 520 nm
- Verde: 520 a 600 nm
- Rojo: 630 a 690 nm
- Infrarrojo cercano: 760 a 900 nm

Aplicaciones

- a) Modelado 3D
- b) Defensa e inteligencia: Estimación de daños por bombardeos (Fig. 76)

Figura 76. Irak



Fuente: http://www.digitalglobe.com/index.php/47/Industry+Applications?industry_id=16

- c) Contaminación del aire: Descargas accidentales de químicos tóxicos pueden ser detectadas y monitoreadas mediante el uso de las imágenes satelitarias (Fig. 77).

Figura 77

Fuente: <http://www.scitek.co.th/Environment.html>

d) Contaminación del agua: Mediante el uso de estas imágenes se pueden detectar las descargas legales e ilegales dentro de los cursos de agua, desagües y canales. Las dimensiones de la pluma de descarga, así como la fuente de la misma, pueden ser identificadas y es posible medir qué tipo de materiales contienen: material en suspensión, hidrocarburos, sedimentos, burbujas, o pinturas. (Fig. 78).

Figura 78

Fuente: <http://www.scitek.co.th/Environment.html>

Satélite IKONOS¹⁵

Toma información en un promedio de dos veces al día, cubriendo áreas de 20.000 km² en una misma pasada y produciendo como resultado imágenes de 1 metro de resolución cada tres días y de 4 m de resolución todos los días.

Otros datos acerca de este satélite¹⁶:

- Altitud: 681 km
- Inclinación: 98.1°
- Velocidad: 7km/s
- Sentido de la órbita: descendente
- Duración de la órbita: 98 minutos
- Tipo de órbita: sincrónica con el sol
- Tiempo de revista: 1 a 3 días
- Resolución en el terreno: Pancromática, 1m; y Multiespectral, 4m
- Bandas espectrales que utiliza:

Pancromático: 0.45-0.90 μm

Azul: 0.45-0.52 μm

Verde: 0.52-0.60 μm

Rojo: 0.63-0.69 μm

Infrarrojo próximo: 0.76 - 0.90 μm

En la figura 79 puede verse una imagen tomada con este satélite.

15 La etimología de la palabra proviene del griego y significa "imagen".

16 Fuente: www.aeroterra.com

Figura 79. Aeropuerto de Frankfurt (Alemania)



Fuente: <http://www.ucl.ac.uk/laws/environment/satellites/gallery/ikonosFRANFURT.gif>

Aplicaciones

- Mapeos urbanos y rurales que requieran alta precisión en los datos (catastro, redes, planeamiento, telecomunicaciones, saneamiento, transportes, etc.).
- Mapeos básicos y aplicaciones generalmente con Sistemas de Información Geográfica.
- Usos de la tierra (con énfasis en áreas urbanas).
- Estudio de áreas verdes urbanas.
- Estimaciones de cosechas y demarcación de propiedades rurales.
- Laudos arbitrales en cuestiones ambientales.

Satélite Sac-c¹⁷

Cubre la observación de la Tierra realizando mediciones científicas. La primera, y en particular en el territorio argentino, se realiza mediante el empleo de imágenes ópticas orientadas al estudio de los ecosistemas en general. Se obtienen datos de temperatura, vapor de agua de la atmósfera, campo magnético, estructura y dinámica de la atmósfera e ionósfera.

¹⁷ Fuente: www.conae.gov.ar

Algunos datos de este satélite:

- Peso: 485 kg
- Dimensiones: Base con 1,85 m por 1,68m. Altura: 2,2 metros.
- Altura de la órbita: 705 km
- Tipo de órbita: circular, cuasi polar, heliosincrónica.
- Hora de pasada del satélite: 10.25 AM
- Lanzamiento: 21/11/2000. Vanderberg. California

Instrumental que lleva a bordo

MMRS: Cámara Multiespectral de Resolución Media.

HRTC: Cámara pancromática de alta resolución.

HSTC: Cámara de alta sensibilidad.

GOLPE: Receptor de GPS de posicionamiento global.

DCS: Sistema de recolección de datos.

MMP: Instrumento de Medición del campo geomagnético.

ICARE: Instrumento para determinar el efecto de partículas de alta energía en componentes electrónicos.

INES: Experimento de navegación y actitud.

IST: Instrumento experimental de navegación.

Aplicaciones

La sensibilidad de la cámara multiespectral (MMRS) a las distintas bandas del infrarrojo permite conocer la salud de las plantas y predecir los resultados de las cosechas.

La cámara de alta sensibilidad (HSTC) permite observar la superficie terrestre de noche y detectar focos de incendios en bosques aislados.

En la banda de luz visible se pueden realizar estudios costeros y de contaminación de aguas y suelos, así como recursos geológicos y mineros.

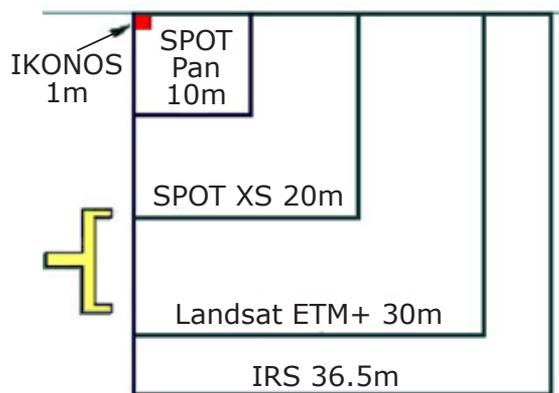
Se pueden evaluar recursos hidroenergéticos, como el agua caída en la alta cuenca del río Paraná o la nieve acumulada en las cumbres que alimentan el Río Limay, pudiendo determinar áreas vulnerables a

inundaciones.

Comparación de resoluciones espaciales entre sensores multispectrales

La figura 80 ilustra comparativamente el píxel para una serie de sensores: el sensor del IKONOS, que tiene una resolución espacial de 1 metro; el sensor pancromático del satélite SPOT, con un píxel de 10 metros, mientras que su sensor multispectral (XS) tiene un píxel de 20 metros; el sensor ETM+ del Landsat para las bandas 1-5 y 7, que tiene un píxel de 30 metros; y el sensor del satélite Indio (IRS), que tiene un píxel de 36.25 metros.

Figura 80. Comparación de resoluciones entre sensores



Fuente: www.gsfc.nasa.gov

Ejemplo de utilización de imágenes en un caso concreto

Como ya se ha visto, una de las aplicaciones de las imágenes satelitales es la identificación de cambios en los usos del suelo y la distribución de la vegetación en una determinada zona.

En la figura 81 se muestran dos imágenes de la misma zona. La de la izquierda fue tomada el 14/8/1999 y la de la derecha el 17 de octubre del mismo año. La combinación de bandas espectrales fue la misma para las dos imágenes (5-4-2). Los cambios mostrados en la segunda imagen, en los colores de las montañas del este de Salt Lake City, indican que el período de crecimiento de la vegetación ha llegado a su fin.

Un estudio multitemporal usando imágenes satelitarias de la misma zona permite identificar y analizar cambios en los patrones de uso del suelo, en la biomasa, especies vegetales involucradas y patrones de crecimiento fenológico de los cultivos y la vegetación en general.

Figura 81. Salt Lake City, E.E.U.U.



Fuente: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter6/chapter6.html

CBERS

El satélite brasileiro CBERS tiene un conjunto de sensores (WFI -Cámara de Amplio Campo Visual), CCD (Cámara de Imagen de Alta Resolución), IRMSS (Barredor de imagen de Media Resolución), y HRC (Cámara Pancromática de Alta Resolución).

El potencial de aplicación del sensor está dado en función de las características de su resolución espacial, espectral, temporal y radiométrica.

La cámara de Imagen de Alta Resolución (CCD) con una resolución espacial de 20 metros – en cuatro bandas espectrales, y una pancromática se aplica para la observación de fenómenos y objetos con gran detalle.

Principales usos:

- Vegetación: identificación de áreas forestales, forestación en parques, reservas, bosques nativos o implantados, estimación de áreas quemadas recientemente, entre otros.
- Agricultura: identificación de campos agrícolas, estimación de áreas

cultivadas, cosechadas.

- Medio ambiente: identificación de anomalías a lo largo de cursos de agua, áreas urbanizadas, calles, mapeos de usos del suelo, expansión urbana.
 - Agua: identificación de áreas de contacto suelo-agua, estudios costeros, monitoreo de reservorios.
 - Geología y suelos: apoyo en levantamientos de suelos y geológicos.
- El Barredor de Imagen de Media Resolución (IRMMS), tiene dos bandas espectrales en la región del infrarrojo medio y una pancromática con 80 metros de resolución espacial, y una banda en la región del infrarrojo termal con una resolución de 160 metros.

Además de las mismas aplicaciones del sensor CCD tiene las siguientes aplicaciones:

- Análisis de fenómenos que presentan alteraciones en la temperatura de la superficie.
- Generación de cartas de imagen
- Generación de mosaicos

La Cámara de Amplio Campo Visual (WFI), tiene una amplia cobertura espacial, permitiendo observar fenómenos cuyas magnitudes tienen una escala espacial macro regionales o estatales/provinciales. Entre sus aplicaciones se pueden mencionar:

- Generación de mosaicos nacionales o estatales/provinciales.
- Generación de índices de vegetación
- Monitoreo de fenómenos dinámicos, como cosechas agrícolas, áreas quemadas.
- Sistema de alerta.
- Acoplamiento con otros sistemas mundiales de colección de datos de baja a media resolución.

La Cámara Pancromática de Alta Resolución (HRC) puede representar una franja estrecha, de 27 km, pero con altísima resolución (píxel de 2,7

metros).

Las principales aplicaciones son:

- Generación de mosaicos detallados.
- Actualización de cartas temáticas.
- Generación de productos cartográficos para el planeamiento local o municipal.
- Aplicaciones urbanas.

Las imágenes del sitio CBERS pueden ser descargadas gratuitamente, citando la fuente: CBERS/INPE – divulgação.

MODIS

El instrumento MODIS fue construido por la NASA según especificaciones de Santa Bárbara Remote Sensing. Provee alta sensibilidad radiométrica (12 bit) en 36 bandas espectrales entre 0.4 μm a 14.4 μm .

El primer modelo de vuelo del MODIS (Flight Instrument, ProtoFlight Model o PFM), se encuentra integrado en Terra (EOS AM-1). Terra fue lanzado en Diciembre de 1999. El segundo instrumento de vuelo MODIS (Flight Model 1 o FM1) está integrado en el satélite Aqua (EOS PM-1), y fue lanzado en Mayo de 2002. Estos instrumentos MODIS ofrecen una mirada sin precedentes sobre los fenómenos terrestres, atmosféricos y oceánicos para una amplia gama de usuarios en todo el mundo.

2.2c Satélites meteorológicos

Su principal aplicación es el estudio de las variaciones climáticas y los estados meteorológicos a nivel regional y global, así como la predicción de sucesos catastróficos tales como inundaciones, huracanes, tornados, sequías, etc.

Estos satélites pueden tener una órbita geoestacionaria o polar. Los satélites meteorológicos más utilizados son los lanzados por la Agencia Nacional Atmosférica y Oceanográfica (NOAA) de los Estados Unidos.

Satélites NOAA Geoestacionarios y de órbita polar

La NOAA opera los satélites meteorológicos de EEUU y maneja el

procesamiento y distribución de millones de bits de datos e imágenes que los satélites obtienen diariamente.

La NOAA tiene un sistema de teleobservación compuesto por dos tipos de satélites meteorológicos:

- a) de órbita geostacionaria (GOES) para pronósticos instantáneos.
- b) de órbita polar para pronósticos de mediano y largo plazo.

Ambos tipos de satélites son necesarios para proveer un sistema global completo de monitoreo meteorológico y climático.

a) Satélites GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites)

Los satélites GOES orbitan la Tierra a una altura de 35.800 km sobre la superficie terrestre y a la misma velocidad de rotación del planeta en una órbita geosincrónica, sobre el plano ecuatorial. Esta altitud sobre la superficie terrestre permite obtener imágenes de toda la Tierra y proveer información atmosférica permanente, sobre todo para pronosticar condiciones severas tales como tornados, inundaciones, huracanes, etc, así como monitorear su desarrollo y predecir y seguir sus movimientos.

Las imágenes obtenidas por los satélites GOES también se utilizan para estimar la lluvia caída durante las tormentas, del mismo modo que las acumulaciones de nieve luego de grandes nevadas. Esta información le permite a los meteorólogos pronosticar alertas de tormentas, así como nevadas de primavera. Los sensores de los satélites detectan campos de hielo y también permiten el mapeo de los movimientos de los mares y océanos.

La National Aeronautics and Space Administration (NASA) lanzó el primer GOES para la NOAA en 1975 y el segundo en 1977. Actualmente, los Estados Unidos operan los satélites GOES-10 y GOES-12.

El satélite GOES-10 (o GOES-Oeste) está posicionado en la longitud oeste de 135° sobre el Ecuador y monitorea América del Norte y la cuenca del Océano Pacífico. Algunos datos de este satélite son:

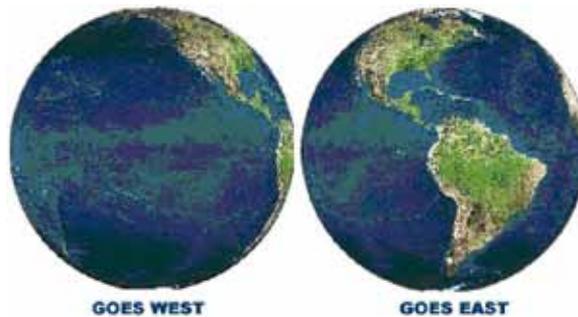
- Dimensiones: 2.0m x 2.1m x 2.3m.

- Peso 2105 kg.
- Fecha de lanzamiento: 1997
- Información orbital: la órbita es geosincrónica, se encuentra a una altitud de 35786 km. La inclinación es de 0.41°.

El satélite GOES-12 (o GOES-Este) está posicionado a los 75° de longitud oeste sobre el Ecuador y monitorea el continente americano y casi todo el Océano Atlántico (Fig. 82).

Los dos satélites operan juntos para producir una imagen completa de la Tierra de día y de noche. La cobertura se extiende entre los 20° de longitud oeste y los 165° de longitud este.

Figura 82. Cobertura de los satélites GOES



Fuente: www.goes.gsfc.nasa.gov

Ambos satélites llevan a bordo dos instrumentos primarios denominados Imager y Sounder. El primero es un instrumento multicanal que recibe la energía radiante y energía solar reflejada por la superficie terrestre y la atmósfera. El Sounder provee datos para determinar la temperatura vertical y el perfil de humedad de la atmósfera, superficie y temperaturas en la parte superior de las nubes, y la distribución de ozono.

Otros instrumentos a bordo de los satélites son el Search and Rescue transponder (SAR), es decir un sistema de recolección de datos para el terreno, y el Space Environment Monitor (SEM) o monitor del ambiente espacial. Este último es un magnetómetro (un sensor de rayos x), que es un aparato diseñado para detectar protones de alta energía y partículas

energéticas. Son usados par monitorear el espacio próximo a la Tierra y las condiciones meteorológicas solares. El satélite GOES-12 también lleva un sensor de rayos x denominado Solar X-Ray Imager (SXI).

La serie GOES-I provee datos a los meteorólogos e hidrólogos para los pronósticos con gran detalle y nuevos tipos de sondeos atmosféricos. Los datos recogidos por los satélites GOES combinados con los nuevos radares, así como los sofisticados sistemas de comunicaciones, permiten grandes mejoras en los pronósticos y alertas meteorológicas (sobre incendios, huracanes, inundaciones, tornados, etc).

b) Satélites NOAA de órbita polar

En complementación con los satélites geoestacionarios, hay dos satélites de órbita polar conocidos como TIROS-N o ATN (Advanced Television Infrared Observation Satellite), que circundan la Tierra en órbita polar norte-sur, pasando en proximidades a ambos polos. Las órbitas son heliosincrónicas, circulares, con una altitud variable entre 830 (matutina) y 870 (vespertina) km. Un satélite cruza el Ecuador a las 7:30 a.m. hora local y el segundo a la 1:40 p.m. hora local.

Algunas características del NOAA – 15 se presentan en el cuadro 8.

Cuadro 8. Características del NOAA-15

Dimensiones:	4.2m de largo x 1.88m de diámetro
Peso:	2231.7 kg, incluyendo 756.7 kg de combustible
Lanzamiento:	1998
Información orbital:	Tipo: heliosincrónica Altitud: 833 km Período: 101.2 minutos Inclinación: 98.70°

Sensores a bordo:	Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR/3) Advanced Microwave Sounding Unit-A (AMSU-A) Advanced Microwave Sounding Unit-B (AMSU-B) High Resolution Infrared Radiation Sounder (HIRS/3) Space Environment Monitor (SEM/2) Search and Rescue (SAR) Repeater and Processor Data Collection System (DCS/2)
-------------------	--

Fuente: www.noaa.gov

Los satélites de órbita polar son capaces de monitorear el globo entero. Los sensores a bordo pueden medir algunos parámetros atmosféricos, la cobertura de nubes, protones solares, iones positivos, densidad del flujo de electrones y el espectro energético a la altitud del satélite. Proveen datos radiométricos en el espectro visible e infrarrojo, los cuales son usados para medidas de radiación, perfiles de temperaturas y radiación, entre otros usos. Los sensores en el espectro ultravioleta también proveen información sobre los niveles de ozono en la atmósfera y son capaces de detectar el agujero de ozono sobre la Antártida desde mediados de Septiembre a mediados de Noviembre. Rastrear condiciones meteorológicas que eventualmente puedan afectar el tiempo y el clima. El instrumento más importante que llevan a bordo es el AVHRR.

Actualmente la NOAA se encuentra operando 5 satélites de órbita polar con sensores mejorados, comenzando con el lanzamiento del satélite NOAA-15 en 1998, NOAA-16 en 2000, y el NOAA-17 en 2002. Los satélites NOAA-12, NOAA-14 y NOAA-15 continúan transmitiendo datos como satélites stand-by. NOAA-16 y NOAA-17 son clasificados como satélites operativos.

Sensor Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR

Este sensor puede ser usado para determinar en forma remota la cobertura de nubes y la temperatura de la superficie (este término se refiere a la superficie de la Tierra, la superficie superior de las nubes o la superficie de un cuerpo de agua). Este escáner radiométrico usa 6 detectores

que recogen información en diferentes bandas de longitudes de radiación, como se muestra en el cuadro 9.

El primer AVHRR tenía un radiómetro de 4 canales, que iba a bordo del satélite TIROS-N. Fue mejorado con un instrumento de 5 canales en el AVHRR/2, el cual era transportado por el NOAA-7. La última versión del instrumento es el AVHRR/3, con 6 canales llevado a bordo inicialmente en el NOAA-15.

Este instrumento pesa aproximadamente 72 libras, mide 11.5 pulgadas x 14.4 pulgadas x 31.4 pulgadas, y consume 28.5 Watts de potencia.

Cuadro 9. Características de los canales del AVHRR/3

Canal	Resolución	Longitudes de onda (um)	Aplicaciones
1	1.09 km	0.58 - 0.68	Nubosidad matutina y mapeo de la superficie
2	1.09 km	0.725 - 1.00	Zonas de contacto suelo-agua
3A	1.09 km	1.58 - 1.64	Detección de hielo y nieve
3B	1.09 km	3.55 - 3.93	Nubosidad nocturna y mapeo de la temperatura
4	1.09 km	10.30 - 11.30	Nubosidad nocturna y mapeo de la temperatura
5	1.09 km	11.50 - 12.50	Temperatura de la superficie marina

Fuente: www.noaa.gov

Esta combinación de diversas longitudes de onda permite la realización de análisis multiespectrales para definiciones más precisas de los parámetros hidrológicos, oceanográficos y meteorológicos. La comparación de datos provenientes de dos canales es usada a menudo para observar y medir parámetros ambientales. Los tres canales que operan enteramente dentro de la porción infrarroja del espectro son utilizados para detectar la radiación de calor del rastrojo, la temperatura del suelo, el agua, superficies marinas y las nubes sobre ellas.

Satélites geoestacionarios Meteosat

Primera generación

Se refiere a una serie de satélites geoestacionarios que han provisto imágenes de la Tierra para pronósticos meteorológicos durante un cuarto de siglo. El primer satélite fue lanzado en 1977 y el último de esta generación (Meteosat-7) fue lanzado en 1997.

La provisión de datos es continua durante las 24 horas del día. Los datos son capturados cada 30 minutos por tres canales espectrales del principal sensor del satélite, denominado Meteosat Visible and InfraRed Imager (MVISIRI). Los 3 canales toman información en las regiones visible, infrarrojo y de vapor de agua del espectro electromagnético.

La principal ubicación operativa del satélite Meteosat está sobre el Ecuador, a 0° de longitud. Aquí es donde los primeros Meteosat operaron y operan, proveyendo una amplia gama de productos meteorológicos. Actualmente una segunda generación está posicionada cerca de los 0°, uno como primer proveedor de información y el otro como backup. Un tercer Meteosat, de la primera generación, se ocupa del servicio de la cobertura del Océano Indico (Indian Ocean Data Coverage - IODC), el cual provee de datos operativos e imágenes sobre el mismo. Un cuarto Meteosat (también de la primera generación) está posicionado sobre el Océano Indico, desarrollando funciones de backup del satélite IODC.

Historia operativa de la serie:

- Meteosat 1: 1977-1979
- Meteosat 2: 1981-1991
- Meteosat 3: 1988-1995
- Meteosat 4: 1989-1995
- Meteosat 5: 1991-2007
- Meteosat 6: 1993-2006
- Meteosat 7: 1997-2008

Segunda generación (MSG)

Es un gran avance respecto a los sistemas de la generación previa. MSG

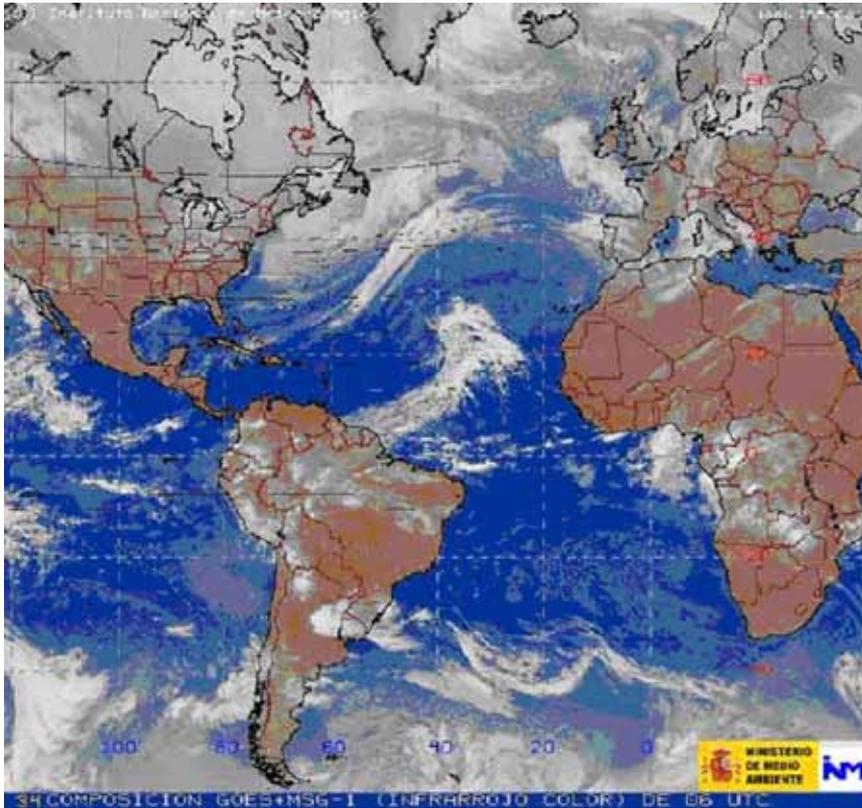
consiste en una serie de cuatro satélites meteorológicos geoestacionarios. El primer satélite MSG lanzado fue el Meteosat-8, en 2002 y el segundo en Diciembre de 2005.

MSG fue diseñado en respuesta a los requerimientos de los usuarios para proveer gran cantidad y variedad de datos para el monitoreo del clima y la investigación aplicada. El sistema MSG ha adquirido grandes mejoras a través de las 12 bandas espectrales (el sistema anterior tenía sólo tres canales) de su radiómetro (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager-SEVIRI).

SEVIRI brinda imágenes diarias de patrones meteorológicos con una resolución de 3 km, además de información atmosférica y termal. El canal de alta resolución visible (High Resolution Visible-HRV) tiene una resolución espacial de 1 km. Cada 15 minutos brinda información útil para los pronósticos meteorológicos en el reconocimiento y predicción de fenómenos como tormentas, huracanes, tornados, niebla, entre otros.

EUMETSAT extrae información de los datos procesados por el sensor SEVIRI y los transforma en productos de gran utilidad para los meteorólogos y climatólogos, tales como diagramas de vientos en superficie, temperatura de la superficie del mar, estimaciones de precipitación y análisis de cobertura de nubes, altura y temperatura. En la figura 83 puede verse una imagen proveniente de un satélite Meteosat.

Figura 83. Imagen proveniente de un satélite Meteosat.



Fuente: <http://www.inm.es/web/infmet/satel/sglomg.html>

EUMETSAT Polar System (EPS)¹⁸

El EPS es el primer sistema europeo operativo de satélites meteorológicos de órbita polar. Vuela a mucha menor altitud (800 km) que los satélites de órbita geostacionaria. El satélite MetOp, desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA) en cooperación con EUMETSAT, provee detalles de perfiles de temperatura atmosférica y de humedad, datos imprescindibles para el pronóstico del tiempo y el monitoreo de las condiciones climáticas.

MetOp-2, el primero de los tres satélites de la serie EUMETSAT Polar System, fue lanzado en 2006, en Kazajistán. Una vez en órbita, el satélite tomó el nombre MetOp-A.

¹⁸ Fuente: www.eumetsat.int

2.3 Los radares

El radar de imágenes laterales trabaja emitiendo pulsos cortos de energía electromagnética sobre la superficie de la Tierra, analizando luego las ondas reflejadas, de modo que una imagen de radar es la relación de la energía de microondas transmitida por el radar con la energía reflejada por la Tierra directamente de regreso al sensor. Esta energía reflejada se llama retrodispersión y depende de la topografía local, la rugosidad y las propiedades dieléctricas, que están directamente afectadas por los niveles de humedad. Por tratarse de imágenes monobanda es posible visualizarlas únicamente en blanco y negro.

Las imágenes de radar proporcionan información importante sobre geología, agricultura, meteorología, etc. Existen, al igual que para las fotografías aéreas y las imágenes satelitarias provenientes de sensores pasivos, algunas reglas generales para la interpretación de una imagen de radar. El agua es usualmente oscura, las zonas urbanas son siempre muy brillantes gracias a los reflejos sobre extensas superficies verticales. La información comprendida entre estos extremos se corresponderá con distintos matices de gris.

RADARSAT

El satélite RADARSAT fue lanzado el 4 de noviembre de 1995 y es el resultado de un consorcio entre el Gobierno Canadiense, la industria privada y la NASA. Su órbita es heliosincrónica y tiene un ciclo repetitivo de 24 días. Proporciona diariamente imágenes sobre el ártico, y cada cinco días sobre latitudes ecuatoriales.

RADARSAT difiere de los sistemas ópticos multispectrales como LANDSAT y SPOT (los cuales, como se ve, son sistemas pasivos que utilizan la luz solar reflejada por la Tierra para la formación de imágenes de la superficie del planeta) en que RADARSAT utiliza un Radar de Abertura Sintética (SAR). Este radar envía sus propias señales de microondas y procesa sus reflejos en la superficie terrestre. La longitud de onda más larga facilita la penetración atmosférica y permite recabar datos bajo

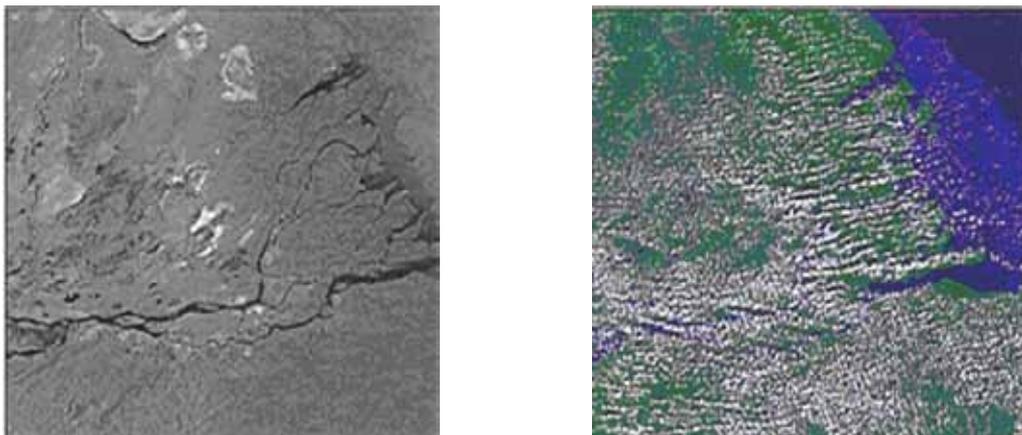
condiciones atmosféricas adversas (alta nubosidad, niebla, bruma, etc.).

En cambio, para los sensores de los satélites Landsat y Spot (que recogen datos a frecuencias correspondientes al espectro visible) la presencia de nubes, polvo, humo, etc. impide obtener imágenes útiles.

El SAR utiliza únicamente la banda C de una sola frecuencia correspondiente a 5.3 GHz y puede dirigir el haz del radar hasta un alcance de 500 Km.

En la figura 84 se muestran dos imágenes de la misma zona tomadas con diferentes sensores. La primera fue tomada por un TM de Landsat, y la segunda por un SAR de Radarsat. Comparando ambas imágenes se puede apreciar la diferencia de calidad debido a la existencia de nubosidad (que en el caso de Landsat impide tomar una buena imagen).

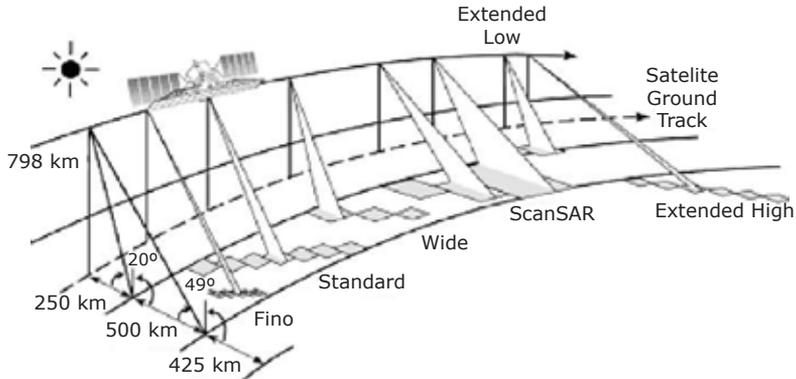
Figura 84. Imágenes Radarsat (izquierda) y Landsat (derecha)



Fuente: <http://www.bgeo.com.py/radarsat.html>

RADARSAT está equipado con siete modos de haz, que posibilitan obtener imágenes con resoluciones que van desde los 8 hasta los 100 metros. El haz puede direccionarse en ángulos desde 10 a 60 grados, barriendo áreas cuyo ancho va desde 50 a 500 km. Esto permite obtener mapas a escalas de 1:1.000.000 a 1:50.000 (Fig. 85).

Figura 85. Modos de haz de RADARSAT



RADARSAT Beam Modes and Resolutions

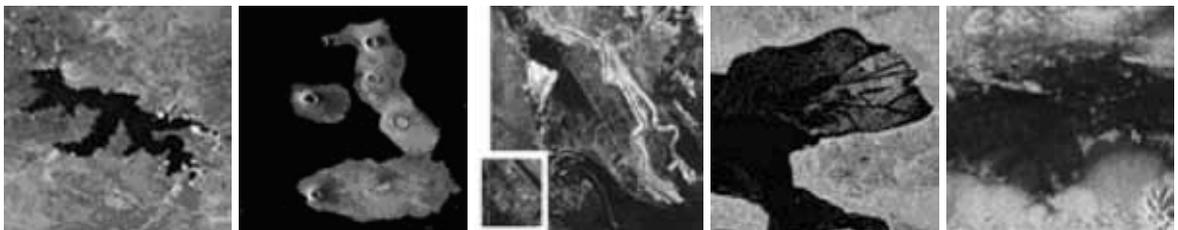
Beam Mode	Nominal Area Covered (km)	Nominal Resolution (m)
ScanSAR Wide	500 x 500	100 m
ScanSAR Narrow	300 x 300	50 m
Extended Low Wide	150 x 150	30 m
Standard	100 x 100	25 m
Extended High	75 x 75	25 m
Fine	50 x 50	8 m

Fuente: <http://www.space.gc.ca/asc/eng/satellites/radarsat1>

Algunos ejemplos de imágenes obtenidas por el Radarsat

En la figura 86 se muestran algunos ejemplos de imágenes que obtuvo RADARSAT.

Figura 86. Imágenes obtenidas por RADARSAT



Fuente: <http://gs.mdacorporation.com/products/gallery/rs1.asp>

2.4 Historia de los sensores remotos y la teleobservación

En el siguiente listado se presentan cronológicamente los principales hitos en relación con el desarrollo y la utilización de los sensores remotos:

1839: primera fotografía tomada por Daguerre.

1858: primera fotografía aérea tomada por Fournachon desde un globo sobre la ciudad de París.

1909: primera fotografía tomada desde un avión por Willbur Wright en Italia.

1914: fotos tomadas con cámaras comunes.

1915: se fabrican cámaras aéreas que se encuentran colocadas sobre el piso del avión.

1920: el Servicio Geológico de USA comenzó a utilizar fotografías aéreas.

1930: fotos infrarrojas.

1935: Comienza el comercio masivo de material fotográfico (Kodak).

1946: Fotos de la superficie terrestre con cohete (V2).

Satélites lanzados:

1957: Lanzamiento del satélite ruso Sputnik

1959: Lanzamiento del satélite norteamericano Explorer I

1960: Tiros 1. USA. 1º Satélite meteorológico

1961: Samos 1. USA. 1º Satélite fotográfico militar

1961: Vostok 1. URSS. 1º Satélite tripulado

1961: Mercury 1. USA. 1º Satélite tripulado

1966: ATS 1. USA. 1º Satélite geoestacionario

1972: Landsat 1. USA. 1º Satélite de recursos naturales

1973: SKYLAB. USA. 1º Satélite tripulado para estudios terrestres

1975: Landsat 2. USA

1977: Meteosat. Europa

1978: Landsat 3. USA

1978: Seasat. USA. Radar. Estudio de océanos y ambientes marinos

- 1982: Landsat 4. USA
- 1983: Shuttle Space Lab. USA
- 1984: Landsat 5. USA
- 1984: SPOT. Francia, ESA
- 1987: MOS 1. Japón
- 1988: IRS. India
- 1990: MOS2. Japón (Marine Observation System)
- 1990: SPOT2. Francia, ESA
- 1991: ALMAZ. Rusia (Radar)
- 1991: ERS1. ESA (Radar)
- 1992: JERS1. Japón (Radar)
- 1993: SPOT 3. Francia, ESA
- 1993: Landsat 6. USA
- 1994: IRS2. India
- 1995: RADARSAT. Canadá (Radar)
- 1995: ERS2. ESA (Radar)
- 1995: IRS-1C. India (Costas, discriminación de cobertura vegetal y minería)
- 1998: SPOT 4. ESA
- 1999: Landsat 7. USA
- 1999: IKONOS. USA
- 1999: TERRA. USA
- 2000: SAC-C. Argentina
- 2001: QUICKBIRD. USA

En el cuadro 10 se sintetizan algunas consideraciones generales sobre la teleobservación, comparando su desarrollo anterior y posterior a 1960.

Cuadro 10. Teleobservación. Antes y después de 1960.

Anterior a 1960	Posterior a 1960
Un solo tipo de fotografías (aéreas)	Gran variedad de fotografías (convencionales, no convencionales y sensores no fotográficos)
Análisis visual de imágenes no realizadas	Procesamiento digital y aplicación de técnicas de realce de imágenes
Aplicación mínima del concepto multitemporal y multiespacial	Gran aplicación del concepto multitemporal y multiespacial
Equipamiento simple y barato	Equipamiento caro y complejo
Escasas aplicaciones para estudios ambientales y de recursos naturales	Multiplicidad de aplicaciones para recursos naturales, medio ambiente y militares.
Gran resistencia a la incorporación de nuevas tecnologías (TICs)	Gran difusión de las nuevas tecnologías (TICs)

Fuente: elaboración propia en base a Marlenko, 1987

El desarrollo de la tecnología a nivel global permite unificar criterios y calidades de fotos que abarquen toda la superficie terrestre. El material sería el mismo para todos los países (la misma escala y sensor); y al ser uniforme será comparable. A raíz de la propuesta surgió la idea de un satélite tecnológico de recursos naturales llamado Erts1 o ErtsA o Landsat, con el cual:

- Dejaron de existir zonas sin fotografiar.
- Se hizo más fácil mantener actualizada la información (y más aún sobre todo el territorio).
- Se logró la multitemporalidad y secuencias continuas, la información continua sobre la misma región fue clave para el análisis de los procesos dinámicos (forestación, pasturas, predicción de cosechas).
- Se visualizaron de forma sinóptica de grandes superficies.
- El procesamiento automático de las imágenes con las correcciones geométricas y radiométricas permitió obtener proyecciones ortogo-

nales, útil para realizar mapas de base más precisos.

Capítulo 3. Las fotografías aéreas

3.1. Generalidades

La fotografía ha sido una de las primeras formas en que el hombre ha hecho teledetección. Mediante la cámara fotográfica se puede obtener una imagen en forma directa, permitiendo un reconocimiento del terreno en forma detallada e inmediata a través de mediciones hechas en ella (fotogrametría¹⁹) e identificaciones de objetos (fotointerpretación).

Las fotos pueden ser:

- Aéreas: tomadas a bajas alturas desde aviones y globos.
- Espaciales: tomadas a grandes alturas, desde el espacio.

El tamaño de las fotos aéreas es comúnmente 14 x 14 cm, 18 x 18cm o 23 x 23 cm. Por el grosor del papel pueden ser de doble o simple peso. Por el terminado o brillo de su superficie, brillantes, semi-mate o mate.

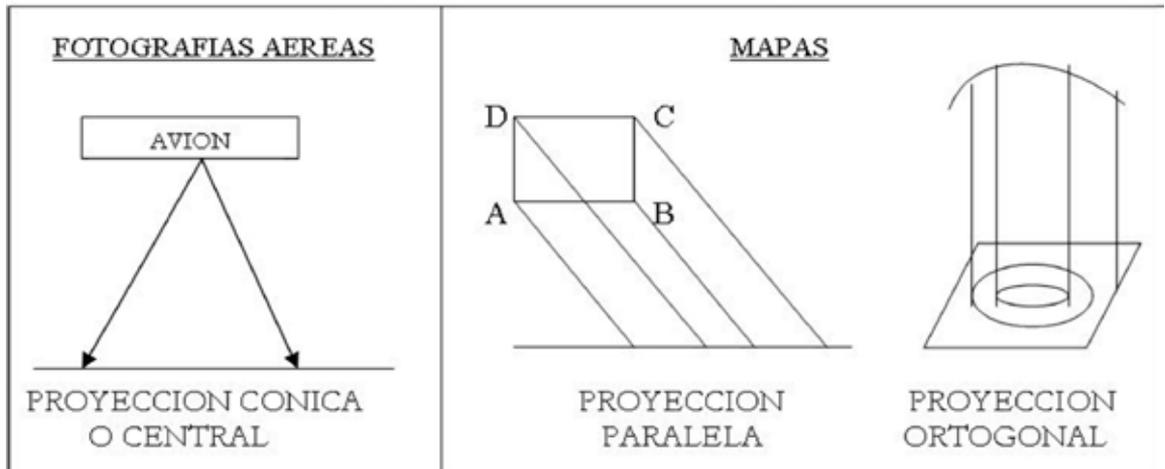
Todos los puntos del terreno serán proyectados en el negativo al pasar por un punto que es el objetivo de la cámara. Estas fotografías presentan deformaciones y en ellas las imágenes del terreno no guardan las proporciones reales. Esto constituye la principal diferencia respecto a las cartas y mapas topográficos.

La foto aérea de un terreno plano y horizontal utilizando una cámara sin deformación sería un mapa y no una foto.

Para elaborar mapas a partir de la interpretación y mediciones efectuadas sobre la foto habrá que considerar el sistema de proyección a utilizar, las características del terreno y los materiales usados.

En las fotografías aéreas la proyección es cónica o central, en tanto que en los mapas es paralela y ortogonal (Fig. 87).

¹⁹ Es la ciencia que realiza mediciones sobre las fotos para determinar la forma, tamaño y dimensión de los objetos presentes en esa foto.

Figura 87. Proyecciones en mapas y fotografías aéreas

Fuente: Romer, 1969

Las fotos aéreas pueden ser:

- Verticales: fotos tomadas con el eje óptico de la lente en posición vertical.
- Oblicuas: fotos tomada con el eje óptico inclinado (Fig. 88).

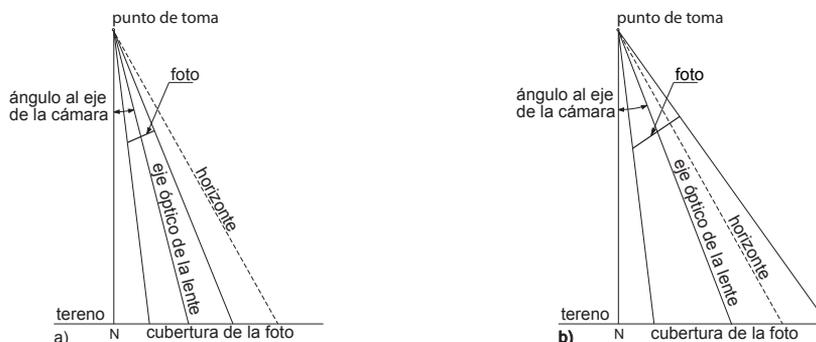
Figura 88. Fotos oblicuas

Foto "poco oblicua", con el horizonte no visible en la foto.

Foto "muy oblicua", con el horizonte visible en la foto.

Fuente: Romer, 1969

Cuando se toman las fotografías existe un traslapo (recubrimiento), que es la superposición. Puede ser:

- Longitudinal: superposición de las fotos en el sentido del vuelo. Va-

ría entre 55 y 70%.

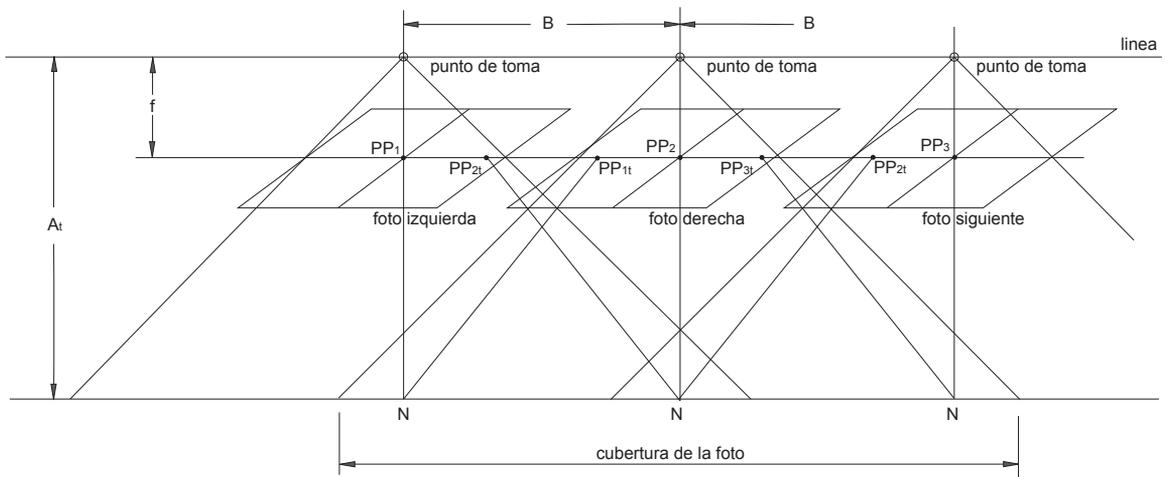
- Lateral: superposición lateral entre las corridas, del orden del 10 al 30%.

Cabe aclarar que una corrida es una serie de fotos aéreas consecuentes tomadas durante un vuelo.

En la figura 89 se muestra la disposición de fotos verticales consecutivas (con un 60% de traslapo longitudinal) durante el proceso del fotografiado donde:

- A es la altura de vuelo sobre el terreno (en metros). Es importante distinguir esta altura de vuelo sobre el nivel del terreno, de la altura de vuelo sobre el nivel del mar. Para fines geológicos se suele volar desde 200 hasta 10000 metros sobre el nivel del mar.
- B es la base aérea entre los puntos de toma (en metros). Es la distancia entre las sucesivas posiciones de la cámara. Generalmente oscila entre 150 y 11.000 metros.
- f es la distancia principal o focal (en milímetros): representa la distancia entre el centro de proyección (lente) y el punto principal de la foto, o sea es la distancia focal de la cámara. Se halla comprendida entre 53 y 500 mm, utilizándose, por lo general, 125, 152 o 210 mm.
- pp1, pp2 y pp3 son los puntos principales. Estos puntos son proyección del centro de perspectiva (lente de la cámara) sobre la foto. Son la intersección del eje óptico de la cámara con la foto.
- pp1t, pp2t y pp3t son los puntos principales transferidos.
- línea de vuelo: es una línea continua que conecta los principales puntos de las fotos sucesivas de vuelo y rara vez es rectilínea.
- N (punto nadir): se encuentra verticalmente debajo de los puntos de toma.

Figura 89.

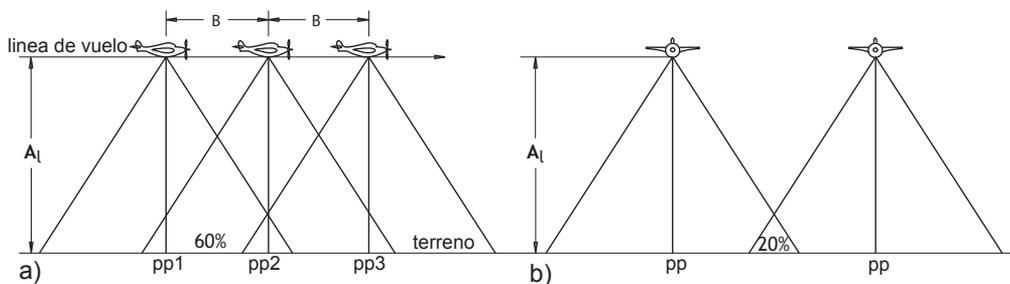


Fuente: Romer, 1969

En la figura 90 se muestran dos ejemplos de traslape:

- Traslape longitudinal de 60% con altura de vuelo sobre terreno A y base aérea B.
- Traslape lateral de 20% entre las corridas o líneas de vuelo.

Figura 90. Ejemplos de traslape longitudinal y lateral



Fuente: Romer, 1969

Otras definiciones a tener en cuenta son:

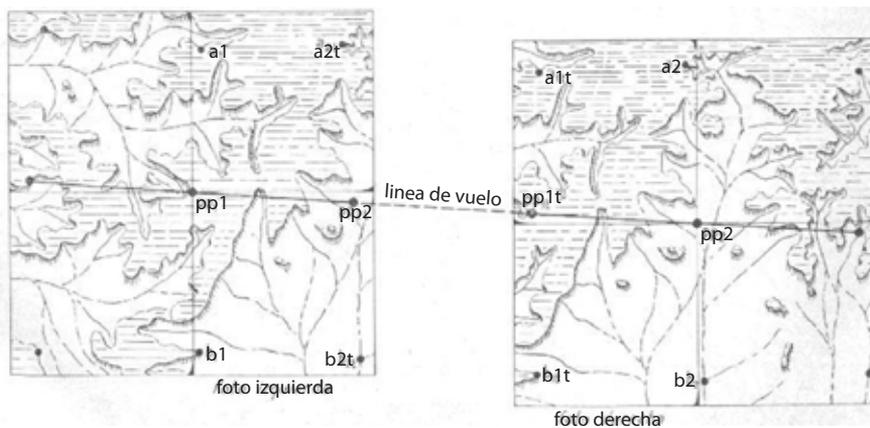
Puntos conjugados u homólogos: puntos idénticos en fotografías superpuestas.

Puntos de pase: son puntos idénticos sobre fotos superpuestas, escogidos encima y debajo de la línea de vuelo, de tal manera que caen en las

partes traslapadas por fotos adyacentes. Los puntos de pase y los puntos principales identificados en las partes sobrepuestas son también puntos conjugados u homólogos.

En la figura 91 se puede ver la posición de dos fotos para la observación estereoscópica²⁰: pp1 y pp2 son los puntos principales transferidos; a1, a1t y a2, a2t; y b1, b1t y b2 y b2t son puntos de pase.

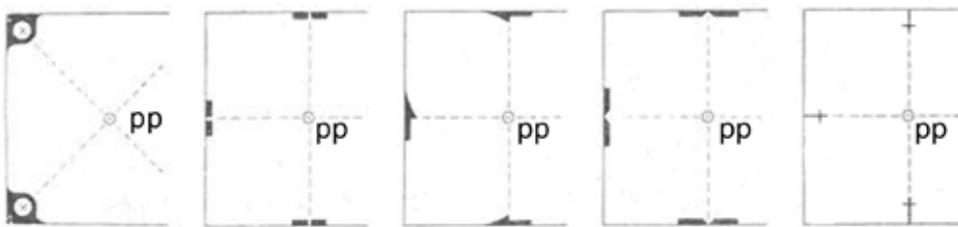
Figura 91. Posición de dos fotos para la observación estereoscópica



Fuente: Romer, 1969

En los bordes o esquinas de las fotos se encontraran marcas de distinta configuración, denominadas marcas fiduciales. La intersección de las líneas que unen las marcas fiduciales, localiza el punto principal de la foto (Fig. 92).

Figura 92. Tipos de marcas fiduciales más comunes

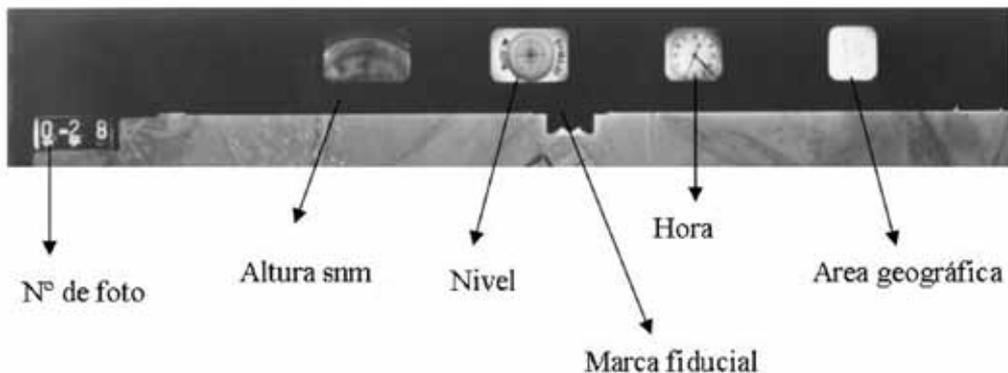


Fuente: Romer, 1969

²⁰ Este tipo de observación, como se verá más adelante, permite tener una visión tridimensional del objeto fotografiado.

Muchas fotografías llevan en el margen, además de las marcas fiduciales, varios datos que son de gran utilidad para el intérprete. En general son: el nivel, que indica la posición del eje óptico de la cámara durante la toma; la hora; la altura de vuelo sobre el nivel del mar; el número de la foto y la distancia focal de la cámara (Fig. 93).

Figura 93. Margen de fotografía aérea



Fuente: Romer, 1969

3.2 Exageración vertical del relieve

La cámara fotográfica, como primer sensor y el más conocido, permite una visión estereoscópica de una porción de paisaje o escena. Las tomas sistemáticas y estereoscópicas se hacen con cámaras de eje vertical, lo que permite la obtención de un estereograma, es decir, un par fotográfico de una misma porción de la superficie terrestre gracias al cual es posible recrear la visión en relieve.

En visión estereoscópica, la exageración vertical del relieve está dada por el aumento de la distancia vertical sobre la horizontal. Como resultado de este aumento, las pendientes aparecen exageradas, configurando un relieve más abrupto que el verdadero.

En general se acepta que la exageración del relieve se debe a que las relaciones geométricas existentes durante la toma de las fotos no son reproducidas al efectuarse la observación estereoscópica. También esta

exageración responde al hecho de que durante la visión estereoscópica, el área en la cercanía de un punto alto tiene en la foto una escala mayor que el terreno más bajo adyacente. Así, la cima muestra una mayor superficie de relieve y, por lo tanto, las pendientes parecen ser más abruptas que en la realidad.

3.3 Clasificación de las cámaras aéreas

Segun la presencia de formato (en milímetros)

Con formato:

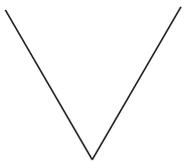
- Rectangular (12 x 18)
- Cuadrada (18 x 18, 23 x 23 y 30 x 30)

Sin formato:

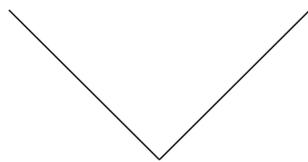
- Continuas
- Panorámicas

Segun el campo angular (el ángulo depende del tipo de cámara) Fig.94

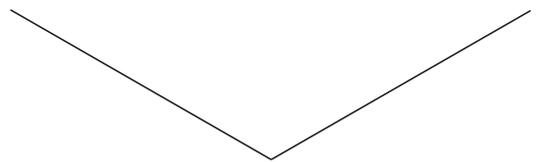
Figura 94. Campos angulares



Normales (60°)

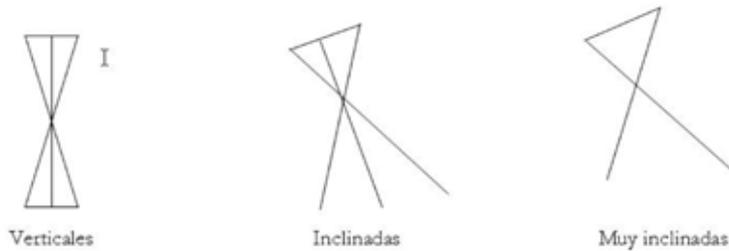


Gran angular (90°)



Super gran angular (120°)

En función de la verticalidad del eje (Fig. 95).

Figura 95. Verticalidad del eje de la cámara

3.4 Algunos patrones de interpretación de fotografías aéreas

Tonalidad

En las fotografías aéreas está asociada a la intensidad relativa de luz reflejada por el terreno y registrada sobre la película.

El tono en las fotos blanco y negro está dado por tonalidades de gris que van desde blanco o gris claro hasta negro o gris oscuro.

Las variaciones en el tono pueden depender del ángulo solar, hora del día, tipo de sensor, bruma, el filtro y el revelado. Además el tono está determinado en muchos casos por el contenido de agua, humedad y permeabilidad de las rocas, los suelos y la vegetación, en general.

Textura

Representa la frecuencia de cambio de tonalidad en la foto. Puede tener un aspecto grueso, fino, uniforme, liso, lineado, moteado o bandeado.

La textura es definida por la distribución areal de varios tonos de gris.

Clima

El ambiente climático se presenta en la fotografía aérea por la existencia o ausencia de vegetación.

3.5 Interpretación de rasgos estructurales del paisaje

Unidades geológicas

Teniendo en cuenta su origen, las rocas se clasifican en:

Rocas ígneas: se forman por enfriamiento del magma y se clasifican según su emplazamiento en:

Plutónicas: se enfrían antes de salir a la superficie (granito a gabbro)

Volcánicas o efusivas, que salen a la superficie y allí se enfrían (riolitas a basaltos)

Rocas metamórficas: se originan a partir de rocas preexistentes por efecto de la presión, la temperatura y fluidos químicamente activos, donde una roca se transforma en otra, sin fusión.

Rocas sedimentarias: se originan por meteorización y erosión de rocas preexistentes, su transporte, deposición y posterior compactación y litificación.

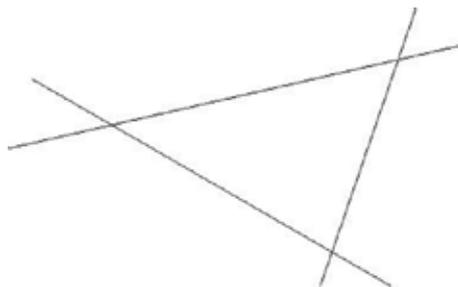
Rocas piroclásticas: Se forman a partir de explosiones volcánicas, el material es transportado por el viento o gravedad y luego se deposita y consolida.

Características de cada grupo de rocas

Igneas:

Granito: son grandes masas rocosas, extensas, con tonos claros, difícilmente erosionables. La textura es rugosa y se fragmenta como se muestra en la figura 96.

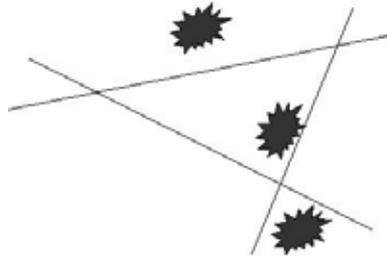
Figura 96. Fragmentación en el granito



En esta zona de fractura es donde comienza la erosión. Allí se depositan las aguas pluviales, alisando las fracturas, lo que origina la textura rugosa

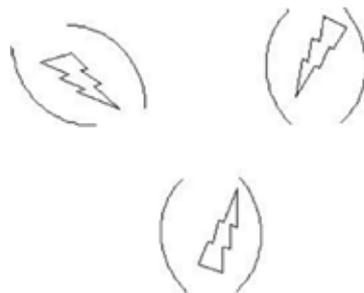
y un diseño de drenaje hídrico rectangular angular (Fig. 97).

Figura 97. Erosión en la zona de fractura



Con el tiempo se originan grandes unidades bien diferenciadas de cordones montañosos (Fig. 98).

Figura 98. Unidades diferenciadas de cordones montañosos



Gabro: son cuerpos muy pequeños, donde predominan los tonos oscuros.
Rocas volcánicas: Pueden ser desde riolitas hasta basaltos, pasando por andesitas. En las fotos las rocas básicas se ven más oscuras que las ácidas.

Las riolitas dan lugar a relieves muy abruptos, con lavas poco densas. Las riolitas rocas formadas a partir de lavas ácidas, explosivas, pierden gas, quedando muy viscosas, lo que da lugar a una tonalidad muy clara. *Los basaltos* son lavas muy fluidas que tapan todo el relieve existente. Pierden muy lentamente el gas, tienen mayor fluidez que las riolitas y dan lugar a tonalidades oscuras. El basalto tiene textura de lagarto, es

manchado, moteado.

Rocas sedimentarias

- Conglomerados > Grano. Claros
- Areniscas
- Lutitas
- Arcillitas
- Calizas < Grano. Oscuros

En el cuadro 11 se caracterizan las rocas de acuerdo a la tonalidad observada en la foto.

Cuadro 11. Características de las rocas de acuerdo a la tonalidad

Tono oscuro	Tono claro
> Hierro (rojas)	> cuarzo
cemento ferruginoso	cemento calcáreo
> % de humedad	< % de humedad
granos mas finos	granos más gruesos

Fuente: Elaboración propia en base a Marlenko, 1987

El tono varía:

- Según la topografía: efecto de la sombra (en zonas quebradas no es el mismo que en zonas llanas).
- Según la vegetación: época del año de los cultivos.
- Según el contenido orgánico: a mayor contenido, más oscuro el tono. En zonas de clima tropical el contenido orgánico es mayor y el tono más oscuro; y en zonas de clima árido, el tono es más claro.

3.6 Interpretación de suelos

Factores que modifican la reflectancia del suelo.

1. Porcentaje de vegetación:

- Suelos totalmente cubiertos
- Suelos parcialmente cubiertos
- Suelos sin vegetación

En el caso de la vegetación desértica, predomina la superficie con suelo desnudo, por lo que se atribuye a la vegetación presente el mínimo absorción de luz.

La época ideal del año para analizar los suelos es el invierno (sobre todo en zonas con receso invernal de vegetación), ya que así se puede evaluar la respuesta del suelo sin que esté enmascarada por la reflectancia de la vegetación.

2. Textura: composición en porcentajes según el contenido de limo, arcilla y arena. Influye sobre la retención de humedad y drenaje interno. Los materiales más gruesos (arena) drenan más que los finos (arcilla).

3. Color: es producto de la suma del material originario y del porcentaje de materia orgánica. Varía según los horizontes.

4. Humedad: cuanto mayor es el porcentaje más oscuro es el suelo.

5. Salinidad: tiene alta reflectancia en todas las bandas espectrales.

6. Superficie: influye si es rugosa o lisa.

Factores que se tienen en cuenta en el proceso de interpretación de suelos

- La red de drenaje: Es indicadora de la textura y estructura del suelo. Está en relación al diseño (radial, dendrítica), al tamaño de los cursos de agua y la densidad (es la cantidad de afluentes por superficie de la cuenca).
- Usos de la tierra: forma y tamaño. Las tierras que se encuentran muy subdivididas son indicadores de la buena capacidad de los suelos.

Las épocas del año (menor cobertura en invierno), serán tomadas en cuenta según el objeto de estudio. Por ejemplo, si se estudia reflectancia, convienen fotos o imágenes tomadas en épocas secas.

En el estudio de suelos es necesario conocer la geomorfología del lugar a estudiar y el trabajo de campo es primordial. Se pueden establecer distintos tipos de suelos en base a la vegetación y topografía. Se hacen calicatas donde se analizan las características edafológicas (textura, color, etc.), horizonte por horizonte y se delimitan las unidades.

Capítulo 4. Las imágenes satelitarias

4.1 Generalidades

Las imágenes satelitarias son el producto del empleo de sensores remotos. Se transmiten desde los mismos a las estaciones receptoras por ondas radioeléctricas, en forma digital, y comprenden distintas bandas del espectro electromagnético en porciones del espectro visible e infrarrojo. El procesamiento de la señal se realiza con sistemas informatizados.

La calidad de la información que se obtenga dependerá de las características particulares de los sensores, básicamente sus resoluciones: espacial, espectral, radiométrica y la periodicidad de la toma de la información.

Para identificar claramente las imágenes satelitarias que representan la superficie terrestre, cada sensor tiene un sistema de cuadrículas denominado de órbitas y cuadros. El número de órbita corresponde a cada una de las líneas norte-sur que cruzan la Tierra de polo a polo, y que atraviesan la mitad de la escena captada por el sensor; sigue un orden ascendente en sentido este-oeste. El cuadro corresponde al paralelo que cruza el medio de la escena captada por el sensor; aumenta la numeración en sentido norte-sur.

En las imágenes satelitarias se especifican los datos correspondientes a las coordenadas del centro de la imagen, la fecha de procesamiento digital, fecha y hora de toma de la imagen y tipo de sensor utilizado. Por

otro lado quedan asentados: la fecha de registro, la estación receptora y el porcentaje de nubes de cada cuadrante.

Especificidad de las imágenes satelitarias

A continuación se presentan algunas de las características de las imágenes satelitarias:

Multitemporalidad: son posibles estudios diacrónicos de objetos localizados en la superficie terrestre, analizando imágenes de fechas diferidas en el tiempo.

Secuencialidad: los diversos satélites de recursos naturales toman imágenes del mismo cuadro entre 10 y 16 días, dependiendo del satélite y sensor del que se trate.

Multiespectralidad: la amplitud de bandas con las que trabajan los satélites permiten al operador ver el mismo objeto desde su firma espectral, que varía según la longitud de onda con la que se opere.

Resolución: Hasta no hace muchos años, las imágenes satelitarias para recursos naturales tenían una resolución espacial de alrededor de 70 metros, aunque en la actualidad tienen menos de 5 metros, con la posibilidad de efectuar aproximaciones mayores, convirtiéndose junto con el auxilio de los SIGs en herramientas de gran precisión en el estudio de los recursos naturales y el ordenamiento territorial.

Píxel: asociado con la resolución se halla el píxel, que es la mínima unidad pictórica de lectura en la imagen satelitaria o la fotografía aérea. Si el píxel es de 20 metros, quiere decir que todo elemento en el terreno que cubra una superficie de 20 x 20 metros o superior, puede ser identificado en la imagen. Si los elementos del terreno son menores a ese píxel, el sensor registrará un promedio de la reflectancia de todos los elementos que estén comprendidos en esa superficie (20 x 20m) y los representará con un solo valor radiométrico. Cuanto menor sea el píxel más precisa será la información que se obtenga del terreno.

Bandas espectrales: las bandas espectrales son las porciones del espectro electromagnético utilizadas para la identificación y análisis de

objetos situados sobre la superficie terrestre.

Capítulo 5. La interpretación visual de fotografías aéreas e imágenes satelitarias

La interpretación visual o manual de fotografías aéreas e imágenes comprende un conjunto de técnicas destinadas a detectar, delinear e identificar objetos y/o fenómenos en una imagen e interpretar su significado. Las principales características de las imágenes que permiten realizar este proceso son: la forma, el tamaño, el tono, el color, la textura, la sombra, el patrón, la ubicación y la asociación.

Hay ciertas ventajas en el uso de las imágenes satelitarias frente a la observación directa de los objetos realizada en tierra:

- La observación en altura permite una visión sinóptica de los objetos y su distribución espacial;
- La resolución del ojo humano es menor que la de los sensores que llevan a bordo los satélites;
- El ojo humano sólo detecta información en la porción visible del espectro electromagnético, en tanto que los sensores satelitarios pueden detectar información en el resto de las bandas espectrales;
- La visión del ojo humano no queda documentada.

La interpretación visual la realiza el intérprete sin instrumental muy complicado. Es más subjetiva que la digital. Su calidad depende, entre otros factores, del material, la capacidad del intérprete, la exactitud de los datos terrestres y el control de campo.

La interpretación tiene una parte deductiva, donde se observan y analizan elementos que no son directamente visibles (ej: suelo cubierto por vegetación).

5.1 Instrumentos para la fotointerpretación

Existen dos tipos de instrumentos:

- Los estereoscopios (de bolsillo, puente y espejos), cuyo principal fin es la identificación e interpretación de los rasgos del terreno.
- Instrumental fotogramétrico, utilizado para las mediciones, transferencia de datos planimétricos y temáticos (geológicos, urbanísticos, etc) desde las fotos al mapa base y la confección de mapas topográficos.

5.2 Visión estereoscópica

La percepción de profundidad se basa principalmente en que cada ojo percibe imágenes diferentes de un mismo objeto, las cuales se fusionan en una sola produciendo, por un proceso cerebral, una impresión tridimensional del objeto.

Las fotos deben constituir un par estereoscópico, es decir, deben estar tomadas desde posiciones diferentes, cubriendo la misma área; los ejes de la cámara deben estar dentro de un mismo plano; la distancia entre los puntos de toma no debe ser demasiado grande en relación con la altura de vuelo sobre el terreno; y no deberá existir discrepancia mayor entre las escalas de ambas fotos.

5.3 Patrones de interpretación

Las principales características de las imágenes y fotografías que permiten realizar este proceso son:

- Tono: el tono está relacionado con la cantidad de energía reflejada por cada objeto. En imágenes blanco y negro el tono aparece como variaciones de gris y es proporcional a la intensidad de la energía reflejada o absorbida por el objeto.
- Color: depende de la reflectancia de los objetos, pero hay que considerar la película usada o el modo en que se compuso el color. El ojo diferencia más colores que tonos de gris. El color es muy indicativo de ciertos objetos, por eso las imágenes color son mejor interpretadas que las blanco y negro.

- **Textura:** se refiere a la variación de tonos, la frecuencia con la que aparecen ciertos objetos. Sin embargo, la granulometría sólo se puede distinguir según la escala empleada. Ej.: en una fotografía aérea de gran escala los árboles individuales determinan la textura; en imágenes a gran escala la misma estará dada por la composición de las especies.
- **Sombra:** depende de la altura del objeto, la hora del día, la estación del año y la latitud de la zona donde se tomó la imagen. En las fotos se pueden identificar objetos por la sombra que proyectan. En la imagen satelitaria, la sombra se ve a nivel regional (nubes, laderas de montañas). Algunos objetos son identificables por la sombra (obelisco), lo cual constituye una gran ventaja, pero como principal desventaja se encuentra el hecho que la sombra puede tapar otros objetos.
- **Patrón o modelo:** se refiere a la distribución espacial de los objetos según normas preestablecidas, tales como los parcelamientos. Hay patrones naturales (diseño de la red de drenaje) y culturales (el más evidente es el uso del suelo).
- **Asociación:** es la forma en que se agrupan distintos objetos.
- **Forma:** es un elemento difícil de interpretar, debido a que los objetos no se presentan de la manera acostumbrada sino en forma vertical. Con entrenamiento se puede identificar claramente los objetos por las formas.
- **Tamaño:** Para conocer el tamaño de un objeto se debe tener en cuenta la escala de la imagen. El tamaño, entonces es válido dentro de la misma foto o imagen. No son comparables entre foto e imagen, aún cuando sean de la misma zona.
- **Convergencia de evidencias:** ante un objeto presente en la foto, se buscan varios caminos para interpretarlo y en todos ellos se llega a la misma conclusión.

Interpretación visual de imágenes satelitarias y fotografías aéreas en Falso Color Compuesto

En el cuadro 12 se muestran los colores relacionados a algunos objetos en las imágenes satelitarias y fotografías aéreas en Falso Color Compuesto.

Cuadro 12. Interpretación visual de imágenes satelitarias y fotografías aéreas en Falso Color Compuesto

OBJETO	IMÁGENES EN FALSO COLOR COMPUESTO
Vegetación sana	Rojo oscuro
Vegetación con stress	Naranja/Rosado
Agua con sedimentos en suspensión	Celeste
Sombras	Negro
Nieve	Blanco
Nubes	Blanco
Agua clara	Azul oscuro/Negro
Areas urbanas	Celeste Azul
Suelo desnudo	Azul

Fuente: elaboración propia en base a Marlenko, 1987

Otras cuestiones a considerar:

- El suelo en general tiene alta reflectividad en todo el espectro electromagnético y baja reflectividad en la porción del espectro electromagnético correspondiente al Infrarrojo Térmico.
- El suelo seco con bajo contenido de materia orgánica tiene alta reflectividad en la porción del espectro electromagnético correspondiente al Infrarrojo Térmico.
- En las zonas áridas y semiáridas el suelo aparece azulado/verdoso por la vegetación xerófila y el predominio de suelo desnudo. Hay mayor reflectancia del suelo que de la vegetación. Cuanta mayor cobertura vegetal y mayor ancho de la hoja, más rojo aparece.
- Los suelos rojizos se ven verdosos en la foto.

Capítulo 6. El procesamiento digital de fotografías aéreas e imágenes satelitarias

Los programas que se utilizan para procesar imágenes permiten realizar un análisis píxel a píxel de forma algorítmica y le asignan a cada uno de ellos un número.

Los valores de los píxeles van desde 0 (negro) a 255 (blanco), luego los números se convierten en imagen.

En las clasificaciones automáticas, el programa genera grupos de elementos con reflectancia similar o que no presenten diferencias significativas dentro de un mismo grupo. Las interpretaciones resultarán más precisas si el operador del procesamiento posee conocimientos de campo.

Por ejemplo, si se está analizando trigo y avena y ambos tienen la misma reflectancia, se hace necesario recurrir al calendario agrícola según la zona geográfica para poder diferenciar un cultivo de otro, según cuando se siembra cada uno.

A mayor exactitud en el trabajo de campo, mayor exactitud en la clasificación de la computadora.

6.1 Objetivos del procesamiento digital

El objetivo del tratamiento de imágenes digitales es el realce de imagen a fin de evaluar sus características multispectrales. Las acciones más comunes son: Realce de bordes, filtros direccionales y espaciales, selección de colores naturales y simulados, confección de mosaicos digitales.

6.2 Ventajas de la interpretación digital

A continuación se listan algunas de las principales ventajas que presenta actualmente la interpretación digital de imágenes:

- Los datos originales se presentan en forma numérica.
- Los errores del sistema pueden corregirse.
- Los ajustes de iluminación solar y efectos atmosféricos se corrigen

también.

- Los píxeles pueden ser analizados individualmente.
- Se aplican funciones matemáticas.
- Se utilizan técnicas de análisis estadístico.
- Gran cantidad de datos se procesan en corto tiempo.

Capítulo 7. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Los Sistemas de Posicionamiento Global (Global Positioning System) son uno de los varios sistemas de posicionamiento de precisión sobre la superficie terrestre basados en el uso de grupos de satélites artificiales que orbitan alrededor de nuestro planeta. Existen otros sistemas de posicionamiento: GLONASS (Rusia) y Galileo (Europeo).

El sistema cuenta con tres sectores o segmentos:

Sector espacial: grupo de satélites con características y órbitas definidas que cubren toda la superficie terrestre.

Sector de Control: estaciones terrestres.

Sector Usuario: Receptor de señales (GPS), registro digital e integración en un SIG.

GPS²¹

En 1993, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América puso en funcionamiento un sistema de localización por satélite, en un principio para uso exclusivamente militar, conocido por las siglas en inglés GPS (Global Positioning System – Sistema de Posicionamiento Global).

El primer sector se compone de 24 satélites (Constelación Navstar) distribuidos en seis órbitas polares diferentes, situadas a 21690 Km de distancia de la Tierra. Cada satélite la circunvala dos veces cada 24 horas, lo que facilita que el receptor GPS reciba, de forma constante y simultánea, las señales de por lo menos 6 u 8 de ellos, independientemente

²¹ <http://www.gps.gov/spanish.html>

del sitio donde esté el observador. Mientras el receptor GPS capte más señales, más precisión tendrá para determinar las coordenadas donde se encuentra situado.

El monitoreo y control de los satélites que conforman el sistema GPS se ejerce desde el segundo sector a través de diferentes estaciones terrestres situadas alrededor del mundo, que rastrean las trayectorias orbitales e introducen las correcciones necesarias a las señales de radio que transmiten hacia la Tierra. Esas correcciones benefician la exactitud del funcionamiento del sistema, como por ejemplo las distorsiones que provoca la ionosfera en la recepción de las señales y los ligeros cambios que introducen en las órbitas la atracción de la luna y el sol.

En el tercer sector, conformado por los usuarios y sus equipos receptores, recibirán datos como la cantidad de satélites localizados y seleccionados e intensidad de señal de radio recibida.

Para determinar la posición geográfica, el receptor localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red y recibe señales que indican la posición y el reloj de cada uno de ellos. En base a las señales, el equipo sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite²². Por "triangulación" se calcula la posición en que éste se encuentra. En la figura 101 se observa el diagrama con la ubicación de los satélites y las esferas de intersección.

²² La situación de los satélites es conocida por el receptor mediante las efemérides, que son datos transmitidos por los propios satélites y que las memorias incorporadas a los GPS ya tienen registrados. Si el reloj del satélite y del receptor están sincronizados, al saber en qué momento emite la señal el satélite y en qué momento la recibe el receptor se conocerá el tiempo de retraso. Teniendo en cuenta que la señal viaja a la velocidad de la luz (300.000Km/seg), se calcula la distancia recorrida.

Figura 101: Diagrama de intersección

Fuente: <http://www.gps.gov>

Cada satélite actuará como centro de la esfera cuya superficie se extenderá hasta el punto o lugar donde se encuentre la antena del receptor; por tanto, el radio de la esfera será igual a la distancia que separa al satélite del receptor. Para cada satélite, el receptor GPS medirá las distancias que lo separan²³ y mediante la triangulación se conoce la ubicación del receptor. Si bien, con las señales de los tres satélites se logra localizar al receptor, la señal de un cuarto satélite permite corregir los desfases de tiempo logrando una mayor precisión en la localización.

Para detectar la altura a la que se encuentra situado el receptor GPS sobre el nivel del mar, tendrá que medir adicionalmente la distancia que lo separa de un cuarto satélite y generar otra esfera virtual que permitirá determinar esa medición.

Generalmente, se dificulta la llegada de las señales cuando se ubica un receptor debajo del techo y de las copas de los árboles. Para que trabajen con precisión hay que situarlos en el exterior, preferiblemente donde no existan obstáculos que impidan la visibilidad y reduzcan su capacidad de captar las señales que los satélites envían a la Tierra.

Si el receptor falla y no realiza las mediciones de distancias hasta los

²³ Los receptores GPS tienen un almanaque electrónico con datos de órbita y velocidad de cada satélite. (Pallejá, E; Dias, R; 1997)

satélites de forma correcta, las esferas no se interceptan y en ese caso no podrá determinar, ni la posición, ni la altura.

La mayoría de los receptores GPS actuales tienen la posibilidad de guardar en la memoria la información digitalizada de mapas, planos de calles de ciudades, red de carreteras y otras prestaciones que pueden mostrar gráficamente en su pantalla con un alto nivel de detalle. Si se conocen las coordenadas de nuestra posición y las del destino, es posible ampliar o reducir la escala de los mapas para seleccionar el camino más corto entre ambos puntos.

El GPS Diferencial introduce una mayor exactitud en el sistema. Ese tipo de receptor, además de recibir y procesar la información de los satélites, recibe y procesa, simultáneamente, otra información adicional procedente de una estación terrestre situada en un lugar cercano y reconocido por el receptor. Esta información complementaria permite corregir las inexactitudes que se puedan introducir en las señales que el receptor recibe de los satélites. En este caso, la estación terrestre transmite al receptor GPS los ajustes que son necesarios realizar en todo momento, éste los contrasta con su propia información y realiza las correcciones mostrando en su pantalla los datos corregidos con una gran exactitud.

El margen de error de un receptor GPS normal puede estar entre los 60 y 100 m de diferencia con la posición que muestra en su pantalla. Para un desplazamiento normal por tierra 100 m de diferencia no debe ocasionar ningún problema, pero para realizar la maniobra de aterrizaje de un avión, sobre todo si las condiciones de visibilidad son bajas, puede llegar a convertirse en un desastre. Sin embargo, el GPS Diferencial reduce el margen de error a menos de un metro de diferencia con la posición indicada.

El único inconveniente del GPS Diferencial es que la señal que emite la estación terrestre cubre solamente un radio aproximado de unos 200 Km. No obstante ese rango es más que suficiente para realizar una maniobra de aproximación y aterrizaje de un avión a un aeropuerto.

Existen también receptores GPS mucho más sofisticados que funcionan recibiendo múltiples señales de radiofrecuencia logrando un margen de error menor a los 25cm.

OTROS SISTEMAS ALTERNATIVOS DE POSICIONAMIENTO

GLONASS²⁴

La segunda alternativa la constituye el Sistema de satélites de navegación global GLONASS (Global Navigation Satellite System) de administración rusa, cuyas funciones son similares a las del GPS, pero con marcadas diferencias en su operación.

Al igual que el sistema GPS, el GLONASS tiene aplicación tanto en el campo militar como en el civil, aunque en este último su uso es bastante limitado. El control de este sistema lo ejerce el gobierno de la Federación Rusa por medio de las Fuerzas Espaciales.

El primer satélite del sistema GLONASS fue lanzado al espacio y puesto en órbita circunferencial el 12 de octubre de 1982 y el sistema completo comenzó a operar oficialmente el 24 de septiembre de 1993. Este sistema se compone de 24 satélites (21 activos y 3 de reserva), distribuidos en tres planos orbitales con una separación entre sí de 120°. Cada satélite gira en una órbita circular a 19.100 km de altura de la Tierra y da una vuelta completa a la órbita cada 11 horas y 15 minutos, aproximadamente.

Los 24 satélites del sistema GLONASS están distribuidos en sus respectivas órbitas de forma tal que siempre existen entre 4 ó 5 de ellos a la vista de los receptores, cubriendo el 97% de toda la superficie terrestre.

Actualmente existen receptores duales que trabajan con el sistema GPS y con el sistema GLONASS.

GALILEO²⁵

La tercera alternativa de posicionamiento global es el sistema Galileo, desarrollo por la Agencia Espacial Europea y controlado por la Unión

²⁴ <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>

²⁵ <http://www.esa.int/esaCP/index.html>

Europea.

El principio de funcionamiento del sistema europeo será idéntico al GPS norteamericano. Estará formado por 30 satélites geoestacionarios distribuidos en tres órbitas circunferenciales situadas aproximadamente a 24 mil kilómetros de altura sobre la Tierra. De ese total de satélites en órbita se encontrarán siempre operativos 27, mientras los 3 restantes se mantendrán en reserva. Actualmente el proyecto se encuentra en la fase de validación de las órbitas de los primeros cuatro satélites desde fines de 2003.

Una diferencia sustancial entre el sistema Galileo, comparado con el GPS y el GLONASS, es que su origen es completamente civil y no estará controlado por un solo país, sino por todos los países que integran la Unión Europea.

La Agencia Espacial Europea prevé que el sistema Galileo sea mucho más preciso que el GPS teniendo en cuenta la tecnología de los satélites de nueva generación y los sistemas de control que se utilizarán desde Tierra. De hecho, se calcula que el margen de error sea solamente de 10 metros, prácticamente la décima parte del GPS. Además, gracias a la amplitud territorial que abarcará y la mayor precisión de las señales de los satélites del sistema Galileo, éstas podrán ser captadas también en algunas latitudes remotas hasta donde no llegan todavía las señales del sistema GPS.

ANEXO

**SISTEMAS DE CLASIFICACION DE USOS DEL
SUELO**

1. CORINE LAND COVER²⁶

Nomenclatura

1. Áreas artificiales

1.1. Tejido urbano

1. 1. 1. Tejido urbano continuo

La mayor parte del suelo está cubierto por edificios, vías de comunicación y otras superficies artificialmente construidas que cubren casi todo el suelo.

Áreas extensas de vegetación y suelo desnudo son excepcionales de encontrar aquí.

1.1.2. Tejido urbano discontinuo

La mayor parte del suelo está cubierto por estructuras: edificios, vías de comunicación y otras superficies artificialmente construidas asociadas con áreas con vegetación y suelo desnudo, las cuales ocupan superficies discontinuas pero significativas.

1.2. Industrias, comercios y transportes

1.2.1. Unidades industriales o comerciales

Áreas cubiertas artificialmente (con cemento, asfalto o estabilizadas, ej.: senderos o pistas), sin vegetación, ocupando la mayoría del área en cuestión, la cual sólo contiene edificios y/o áreas con vegetación.

1.2.2. Redes de ferrocarriles y avenidas y autopistas y las tierras asociadas.

Autopistas, avenidas, ferrocarriles, incluyendo las tierras asociadas tales como estaciones, plataformas y terraplenes. En ancho mínimo es de 100m

1.2.3. Áreas portuarias. Infraestructura de áreas portuarias, incluyendo muelles, astilleros y dársenas para embarcaciones pequeñas (marinas).

1.2.4. Aeropuertos. Instalaciones aeroportuarias: pistas, edificios y tierras asociadas.

1.3. Minas, depósitos y sitios de construcción

²⁶ Traducido del inglés de <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>.

1.3.1. Sitios de extracción de minerales. Áreas con extracción de minerales industriales (arenas, canteras) u otros minerales (minas a cielo abierto).

1.3.2. Depósitos. Depósitos mineros y otros. Industriales o públicos.

1.3.3. Sitios de construcción. Lugares donde se están desarrollando construcciones, suelos, lugares de excavación, terraplenes.

1.4. Áreas artificiales con vegetación no agropecuaria

1.4.1. Áreas urbanas verdes. Áreas con vegetación sin tejido urbano. Incluye parques y cementerios con vegetación.

1.4.2. Áreas deportivas y de esparcimiento. Campings, clubes, parques de diversiones, campos de golf, hipódromos, etc. Incluyen parques formales no cercados por zonas urbanizadas.

2. Áreas agropecuarias

2.1. Tierras arables. Áreas cultivadas, regularmente aradas y generalmente bajo un sistema de rotación de cultivos.

2.1.1. Tierras de secano. Cereales, leguminosas, pasturas para forrajes y tierras en barbecho. Incluye cultivos bajo invernáculo y hortalizas. Incluye especies aromáticas, plantas medicinales y culinarias. Excluye pasturas permanentes.

2.1.2. Tierras bajo riego. Los cultivos son irrigados en forma permanente y periódica, usando infraestructura específica tales como canales de riego y redes de drenaje. No incluye tierras con riego esporádico.

2.1.3. Arrozales. Tierras dedicadas al cultivo de arroz. Tierras llanas con canales de irrigación. Superficies regularmente inundadas.

2.2. Cultivos permanentes. Plantaciones forestales. Excluyen pasturas y bosques.

2.2.1. Viñedos.

2.2.2. Árboles frutales y plantaciones de bayas (berries). Parcelas cultivadas con árboles frutales o arbustos. Incluye plantaciones de castaños y nogales.

2.2.3. Olivares. Áreas plantadas con olivos, incluyendo la combinación de olivos con viñedos.

2.3. Pasturas

2.3.1. Pasturas

Alta densidad con cobertura graminosa, principalmente. No se realiza bajo ningún sistema de rotación. Básicamente usado como pastura para los animales, aunque también puede ser cosechada mecánicamente. Incluye áreas con setos vivos.

2.4. Áreas agrícolas heterogéneas

2.4.1. Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes

Cultivos no permanentes (tierras arables o pasturas) asociadas con cultivos permanentes en la misma parcela.

2.4.2. Complejo de cultivos

Superposición de pequeñas parcelas de diversos cultivos anuales, pasturas y/o cultivos permanentes.

2.4.3. Tierras ocupadas principalmente por agricultura, con áreas significativas de vegetación natural.

2.4.4. Áreas agroforestales

Cultivos anuales o pasturas bajo la cobertura de especies forestales.

3. Bosques y áreas seminaturales

3.1. Bosques

3.1.1. Bosque latifoliado

Formaciones vegetales compuestas principalmente por árboles, incluyendo arbustos y matorrales, con predominio de especies latifoliadas.

3.1.2. Bosque de coníferas

Formaciones vegetales compuestas por árboles, incluyendo arbustos y matorrales donde predominan las coníferas.

3.1.3. Bosques mixtos

Formación vegetal compuesta principalmente por árboles, incluyendo arbustos y matorrales donde las especies latifoliadas y las coníferas son las especies co-dominantes.

3.2. Asociaciones entre arbustos y/o vegetación herbácea

3.2.1. Praderas naturales

Praderas de baja productividad. A menudo ubicadas en áreas escarpadas y rugosas. Frecuentemente incluye áreas rocosas, zarzales y brezales.

3.2.2. Brezales

Vegetación con cobertura baja y cerrada, dominada por arbustos, matorrales y plantas herbáceas (brezales, zarzales, retamas, etc.).

3.2.3. Vegetación esclerófila

Vegetación esclerófila. Incluye maquis y garrigue.

Maquis: asociación vegetal densa compuesta por numerosos arbustos asociados con suelos silíceos del ambiente mediterráneo.

Garrigue: asociaciones discontinuas espesas de llanuras calcáreas mediterráneas. Generalmente compuestas por robles, lavandas, tomillo, etc. Puede incluir algunos árboles aislados.

3.2.4. Ecotono entre arbustos y bosques

Vegetación herbácea con árboles aislados. Puede representar bosques degradados o bosques regenerados o recolonizados.

3.3. Áreas abiertas con poca vegetación o sin ella.

3.3.1. Playas, dunas y salares.

Playas, dunas y arenas o guijarros en las costas o continentes, incluyendo lechos de cursos de agua, con régimen torrencial.

3.3.2. Rocas

Acantilados, rocas y afloramientos.

3.3.3. Áreas escasamente cubiertas por vegetación

Incluye estepas, tundra y badlands. Vegetación dispersa por la altura.

3.3.4. Áreas quemadas

Áreas afectadas por incendios recientes. Se ve la tierra negra.

3.3.5. Glaciares y nieves eternas

4. Humedales

4.1. Humedales interiores.

Áreas no forestadas, encharcadas parcial, estacional o permanentemente. Las aguas pueden estar estancadas o circulando.

- 4.1.1. Pantanos interiores.
- 4.1.2. Turbales
- 4.2. Humedales costeros.
- 4.2.1. Pantanos salados
- 4.2.2. Salinas
- 4.2.3. Llanuras intersticiales

5. Cuerpos de agua

- 5.1. Cuerpos interiores
- 5.1. 1. Cursos de agua

Cursos de agua naturales o artificiales que sirven como canales de drenaje. Ancho mínimo considerado: 100 m.

- 5.1.2. Cuerpos de agua

Naturales o artificiales.

- 5.2. Aguas marinas

- 5.2.1. Lagunas costeras

Albusferas. Estos cuerpos de agua pueden conectarse con el mar a través de puntos limitados, ya sea en forma permanente o en algunos momentos del año.

- 5.2.2. Estuarios

La desembocadura del río dentro de la cual se verifican los procesos de flujos y reflujos de las mareas

- 5.2.3. Mares y océanos.

2. SERVICIO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS²⁷

Sistema de clasificación de usos del suelo y cobertura usado para los datos provenientes de los sensores remotos

1 Tierras urbanas o construidas

- 1.1 Residencial

²⁷ Traducido de (Anderson, *et al*, 1976)

- 1.2 Comercial y de servicios
- 1.3 Industrial
- 1.4 Transportes, comunicaciones y servicios públicos
- 1.5 Complejos industriales y comerciales
- 1.6 Áreas urbanas mixtas
- 1.7 Otras áreas urbanas

2 Tierras agropecuarias

- 2.1 Cultivos y pasturas
- 2.2 Huertos, viñedos, viveros y áreas hortícolas y ornamentales
- 2.3 Ganado engordado a corral.
- 2.4 Otras áreas agropecuarias

3 Campos naturales

- 3.1 Campos herbáceos
- 3.2 Campos arbustivos y matorrales
- 3.3 Campos mixtos

4 Áreas forestales

- 4.1 Bosques caducifolios
- 4.2 Bosques de coníferas
- 4.3 Bosques mixtos

5 Agua

- 5.1 Cursos de agua y canales
- 5.2 Lagos
- 5.3 Reservorios
- 5.4 Bahías y estuarios

6 Humedales

- 6.1 Humedales forestados
- 6.2 Humedales no forestados

7 Planicies s/árboles

- 7.1 Llanuras saladas
- 7.2 Playas
- 7.3 Áreas arenosas

7.4 Áreas rocosas de suelos desnudos

7.5 Minas abandonadas, canteras, etc.

7.6 Áreas de transición

7.7 Planicies mixtas

8 Tundra

8.1 Tundra de arbustos y matorrales

8.2 Tundra herbácea

8.3 Tundra de suelo desnudo

8.4 Tundra húmeda

8.5 Tundra mixta

9 Nieves eternas/hielos

9.1 Campos de nieves eternas

9.2 Glaciares

SECCIÓN III

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Capítulo 1. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica

1.1. Conceptos generales

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) “puede ser concebido como una especialización de un sistema de bases de datos, caracterizado por su capacidad de manejar datos geográficos, que están georreferenciados y pueden ser visualizados como mapas” (Bracken, I.; Webster, C., 1992)

Un SIG también puede ser definido como un “sistema digital para el análisis y manipulación de todo tipo de datos geográficos a fin de aportar información útil para las decisiones territoriales” (Tomlinson, 1988).

Se considera que el primer Sistema de Información Geográfica tuvo su origen en Canadá, con el nombre de Canadian Geographic Information System (CGIS), en el año 1964. El desarrollo de este sistema estuvo bajo la dirección del Dr. Roger Tomlinson, a quien se lo considera hoy el padre de la tecnología SIG .

Este sistema fue desarrollado para el Ministerio de Agricultura de Canadá a fin de servir como apoyo para la realización del inventario de los recursos forestales del país. (Buzai, G., 2000).

Los SIG se usan en cualquier aplicación cuyo objetivo sea gestionar información georreferenciada referida a elementos y/o fenómenos que tienen lugar sobre la superficie terrestre.

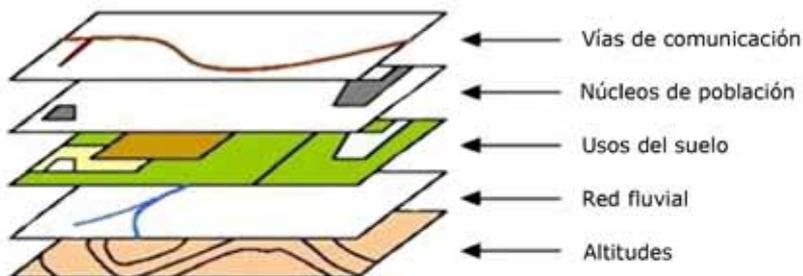
Son una herramienta esencial para manipular con eficiencia la información geográfica porque aumentan su accesibilidad, exactitud y garantizan los resultados para la gestión territorial.

Un SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos, tales como nombres, direcciones, etc) asociada a objetos gráficos que componen un mapa digital. De esta forma, seleccionando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, seleccionando un registro de la base de datos se conocerá su localización espacial.

Un SIG agrupa información en diferentes capas temáticas y las

almacena independientemente (Fig. 102, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al profesional la posibilidad de relacionar los datos existentes a través de la topología de los objetos, con el fin de generar nueva información.

Figura 102. Capas temáticas



Fuente: Eric Kleinjan, 2003

De este modo, utilizando la información que se muestra en las diferentes capas temáticas se puede realizar análisis multicriterio complejos.

1.2. Principales características de un Sistema de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica presentan ventajas diferenciales con respecto a la cartografía convencional; estas diferencias radican en que los SIG permiten manejar datos geográficos referenciados, realizar mapas temáticos y realizar procesamientos de información de tipo digital. Algunas de sus características son:

- Utilizan una base de datos sofisticada, en la que se mantiene y relaciona información espacial y temática.
- Son una tecnología de integración de información.
- Permiten unificar la información en estructuras coherentes y aplicar a la misma una gama variada de funciones: análisis, visualización, edición, etc.

- Su carácter integrador y abierto, hace de los SIG el área de contacto entre variados tipos de aplicaciones informáticas destinadas al manejo de información con propósitos y formas diversos; por ejemplo: programas estadísticos, gestores de bases de datos, programas gráficos, hojas de cálculo, procesadores de texto, etc.
- Los límites y diferencias entre los SIG, los programas de diseño asistido (CAD), los de cartografía temática y los de tratamiento de imágenes son especialmente difusos.
- La principal diferencia se encuentra en los modelos de datos y en las capacidades de análisis de información espacial.²⁸

Capítulo 2. Los Sistemas de Información Geográfica

2.1. La información geográfica

La información geográfica es muy importante por la riqueza de los contenidos, el aprovechamiento económico y su valor estratégico. Como se ve, esta información contenida en una base de datos, puede ser relacionada con la localización en la superficie de la tierra en un mapa digital. Permite conocer muchos problemas que existen en nuestro entorno reconociendo las relaciones espaciales entre las distintas capas.

Los datos geográficos presentan cuatro características distintivas (Comas, Ruiz; 1993):

- Posición de la entidad geográfica, fundamentalmente responde a la pregunta sobre la localización del objeto geográfico. Para ser más precisos, esta localización, en terminologías SIG, se denomina georeferenciación, concepto que hace referencia a la ubicación de un objeto geográfico en el espacio terrestre.
- Atributos temáticos, responden a la pregunta ¿qué es?, y describen algunas características de los objetos geométricos.
- Relaciones espaciales, permiten determinar las interrelaciones

²⁸ Fuente: http://www.sigagropecuario.gov.ar/docs/mapas-info/GIS/definiciones/sig_definiciones.pdf

b) Localización de La Cava; de la villa al barrio: Asociación Para Apoyo a las Comunidades (APAC)

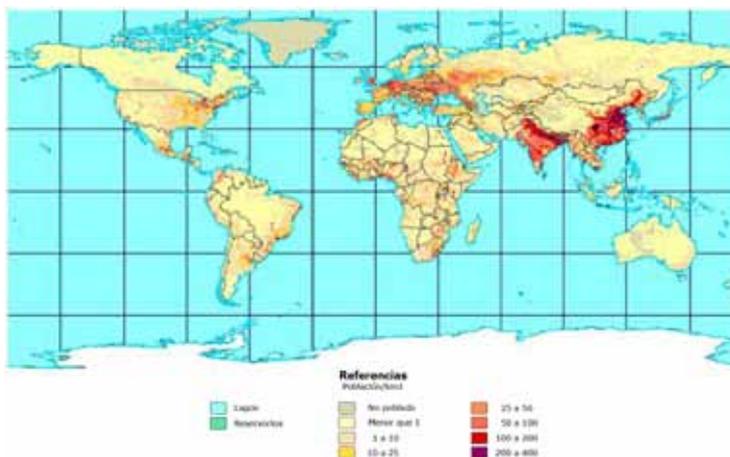


Fuente: Elaboración Propia en base a datos disponibles en el laboratorio de SIG de la UNGS

2.1a Escalas de representación

a) La información puede presentarse de forma muy agregada, por ejemplo: Densidad de población del planeta (Fig. 104)

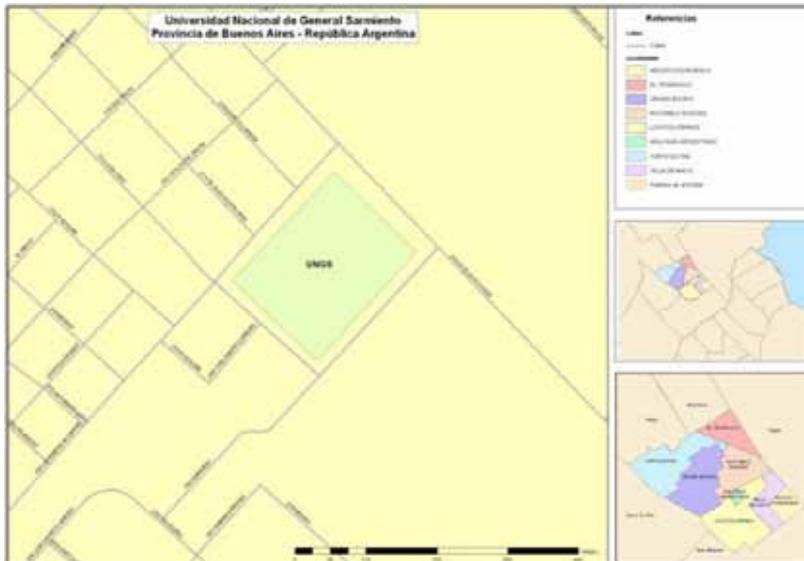
Figura 104. Densidad de población mundial (población/km²)



Fuente: Eric Kleinjan, 2003

b) Puede tratarse de información muy detallada, como nombres de calles y localización de entidades específicas (Fig. 105).

Figura 105. Localización del Campus de la UNGS.



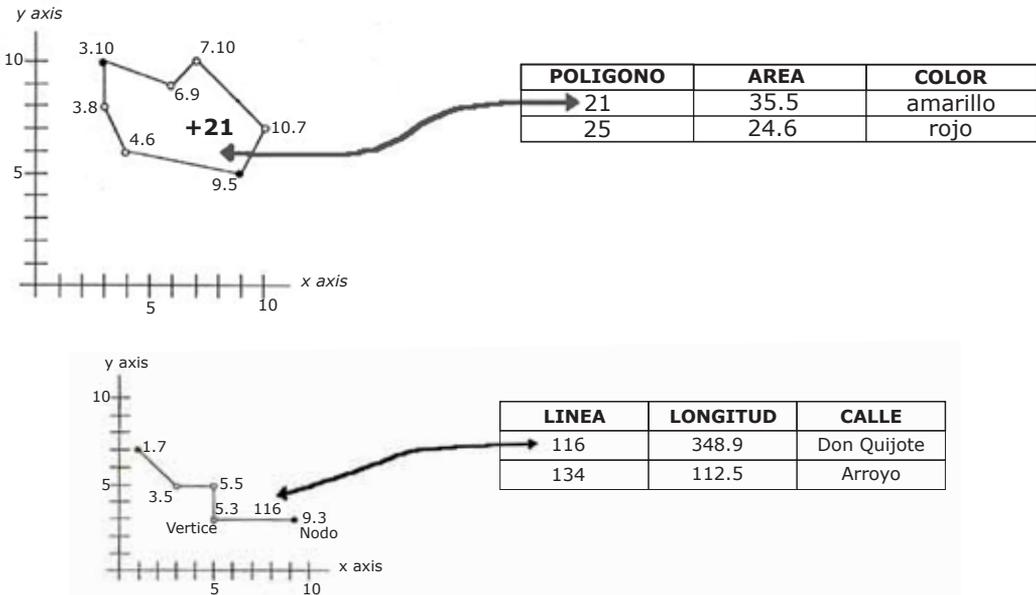
Fuente: Elaboración propia en base a información disponible en el LabSig

La información geográfica es muy compleja. Por ello, para su análisis se ha hecho necesario el desarrollo de herramientas altamente especializadas que permitan su gestión eficiente.

2.1b Componentes de la información geográfica

La información geográfica tiene un componente espacial (lo que se ve en el mapa), y un componente descriptivo (atributos en tablas). Fig. 106.

Figura 106. Componentes de la información geográfica



Fuente: Eric Kleinjan, 2003

2.2. Elementos que componen un Sistema de Información Geográfica

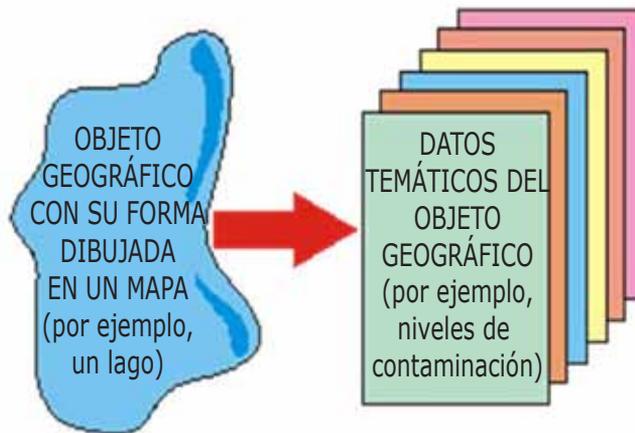
Los Sistemas de Información Geográfica son una tecnología de manejo de información geográfica, formada por un hardware y un programa, que permiten manipular una serie de datos espaciales (información geográfica) y realizar análisis complejos siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico (personal). Es decir que existen cuatro elementos constitutivos de los Sistemas de Información Geográfica:

- Hardware.
- Programas.
- Datos geográficos.
- Personal calificado.

Como ya se dijo, los SIG integran la forma definida y ubicación de los objetos geográficos en el espacio y sus atributos temáticos asociados. Esta capacidad de asociación entre bases de datos con la descripción espacial de elementos geográficos es lo que diferencia a un SIG de otros sistemas de gestión de información. (Fig. 107).

Por ejemplo, un suelo definido como urbanizable tiene su delimitación geográfica (ocupa cierto lugar), pero a su vez tiene una serie de atributos que se le pueden asignar y que lo diferencian de otros suelos y/o suelos urbanizables.

Figura 107. Integración de objetos geográficos y datos temáticos



Fuente: Eric Kleinjan, 2003

La construcción de bases de datos geográficos implica diversos niveles de ejecución. Comienza con el diseño de la estructura de la base de datos. En esta fase, y dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información a compilar, se seleccionan las capas temáticas a incluir.

Para estructurar la información espacial procedente del mundo real y poder representarla en mapas, es necesario utilizar puntos, líneas y polígonos.

Asimismo, existen relaciones espaciales entre los objetos geográficos, denominadas topología (mediante un método matemático-lógico se establecen las relaciones del tipo: al lado de, debajo de, atrás de, etc). Aunque a nivel geográfico las relaciones entre los objetos son muy complejas, siendo muchos los elementos que interactúan sobre cada aspecto de la realidad, la topología de un SIG reduce sus funciones a cuestiones mucho más sencillas, como por ejemplo conocer el polígono (o polígonos) a que

pertenece una determinada línea, o bien saber qué agrupación de líneas forman una determinada ruta.

2.3. Funciones de un Sistema de Información Geográfica

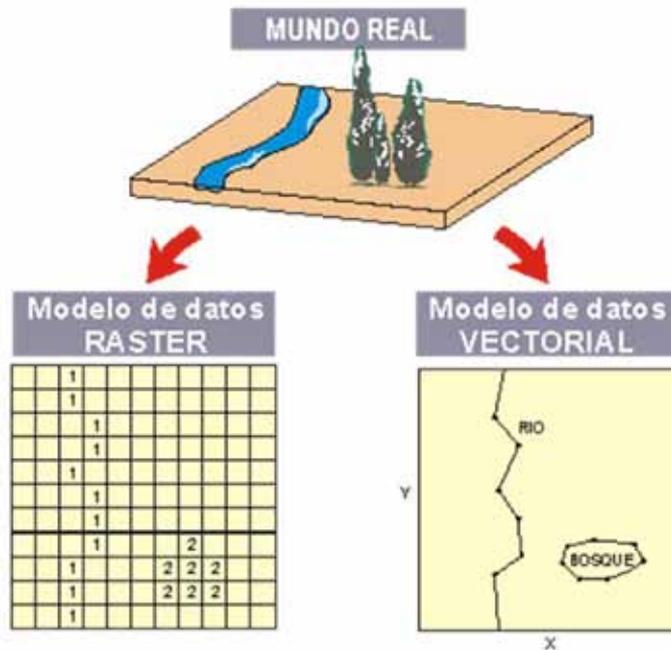
Las principales particularidades que puede resolver un Sistema de Información Geográfica son:

- Localización: preguntar por las características de un lugar concreto.
- Condición: el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- Tendencia: comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- Pautas: detección de pautas espaciales.
- Modelos: generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles los SIG, su campo de aplicación es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

Capítulo 3. Modelos de representación de los Sistemas de Información Geográfica

Existen diversas formas de modelizar las relaciones entre los objetos geográficos o topología. El abordaje de la información geográfica se basa en tres modelos de representación: el discreto o raster, el continuo o vectorial y el orientado a objetos. No existe un modelo que sea mejor o superior que otro; cada uno tiene sus especificidades, que serán detalladas a continuación. Sin embargo, en la actualidad, los dos primeros son los más utilizados. (Fig. 108).

Figura 108. Modelos raster y vectorial

Fuente: Eric Kleinjan, 2003

El modelo de SIG raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio, más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Cuanto mayores sean las dimensiones de las celdas (resolución), menor es la precisión o detalle en la representación del espacio geográfico.

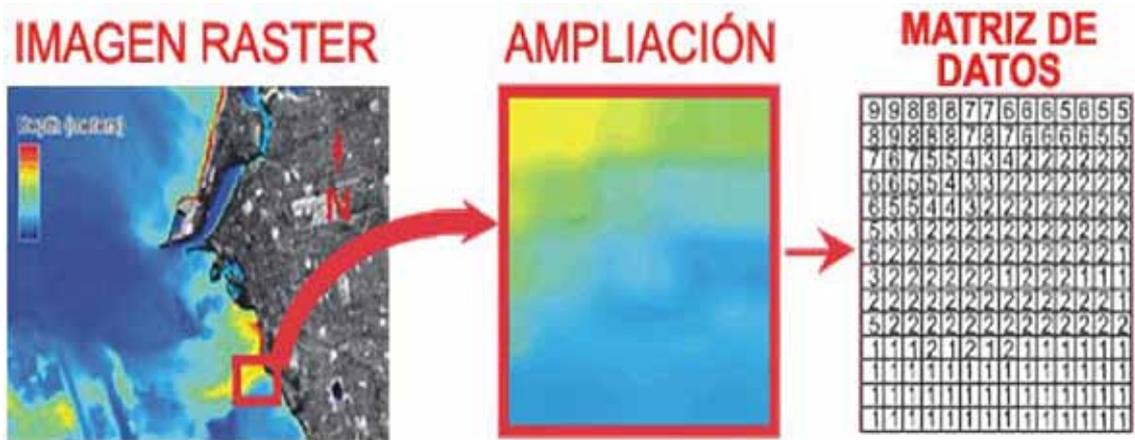
En el caso del modelo de SIG vectorial, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos sobre el espacio. Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres objetos espaciales: el punto, la línea y el polígono.

Los SIG vectoriales son más populares en el mercado. No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios medioambientales (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.).

3.1 Los Sistemas de Información Geográfica Raster

Este modelo consiste en un conjunto de capas de información referidas a la misma área y representada siempre por la misma malla de puntos. Utiliza un cuadrículado para referir y almacenar la información. Así, un área de estudio es dividida formando una cuadrícula de celdas contiguas de igual superficie, cada una de las cuales contiene información sobre la porción del espacio geográfico referida a ella (representada con un valor numérico). (figura 109).

Figura 109. Organización de la información en el modelo de datos raster.



Fuente: Eric Kleinjan, 2003

Cada celda se denomina píxel, y representa una unidad de información. Una celda puede mostrar el rasgo dominante que se encuentra en esa unidad, o la distribución porcentual de todos los atributos que se encuentran en la misma celda. El conjunto de celdas constituye una matriz numérica que puede transformarse en colores o grafismos para su representación.

Para tener una descripción precisa de los objetos geográficos contenidos en la base de datos, el tamaño de la celda (o píxel) debe ser reducido, lo que dotará a la imagen de una mejor resolución.

El modelo raster es apropiado cuando se deben describir objetos geográficos con límites difusos, como por ejemplo, la dispersión de una nube de contaminantes, o la contaminación de un acuífero subterráneo, en donde los límites no son totalmente claros.

En la actualidad, el modelo raster es considerado el más apto para el análisis espacial y para el ingreso de datos a un SIG de imágenes satelitales. Además, admite bases de datos en modelos convencionales.²⁹

3.2. Los Sistemas de Información Geográfica Vectoriales

Los Sistemas de Información Geográfica que utilizan este modelo para la descripción de los objetos geográficos se basan en vectores definidos por pares de coordenadas relativas a algún sistema geográfico, que ocupan un espacio continuo. Es decir que, refieren toda la información como puntos (datos puntuales), líneas (lineales) o polígonos (datos areales) y asignan un conjunto único de coordenadas XY a cada objeto. Este modelo es una traducción más aproximada al mapa original.

Para poder implementar este tipo de modelo se requiere la interconexión entre varias bases de datos a través de identificaciones comunes. Dichas bases de datos contienen tablas cuyas columnas clave permiten relacionar atributos entre tablas.

Generalmente, el sistema vectorial tiene la capacidad de ampliar una pequeña porción del mapa y mostrar mayor detalle, o reducir un área y mostrarla en el contexto regional. Los datos vectoriales ofrecen una gran variedad de herramientas para lograr múltiples superposiciones de estratos de datos.

3.3 Modelo orientado a objetos

El modelo orientado a objetos se basa en la descomposición del espacio geográfico en unidades elementales denominadas objetos, los que contienen toda su información, tanto de atributos como comportamiento.

²⁹ <http://www.sigagropecuario.gov.ar/docs/mapas-info/GIS/documentos/Buzai-Matteucci-GA2002.pdf>; <http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea65s/ch10.htm>

Los SIG orientados a objetos plantean un cambio en la concepción de la estructura de las bases de datos geográficas: mientras que los modelos raster y vectoriales estructuran su información mediante capas, los sistemas orientados a objetos organizan la información geográfica a partir del propio objeto geográfico y sus relaciones con otros.

Los objetos se agrupan en clases y se relacionan jerárquicamente. Derivada de las clases de objetos está la herencia (un objeto toma atributos de otro del cual deriva y los combina con los propios), que evita duplicar información en el sistema.

La ventaja fundamental que presenta este modelo es la dinamicidad de los datos. Es decir, a partir de una serie de parámetros establecidos en el comportamiento de los objetos geográficos, se puede simular su evolución futura, lo que constituye un gran avance si se trabaja en entornos en los que se requiere simulación de situaciones potenciales.³⁰

Capítulo 4. Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica como tecnologías de integración se convirtieron en el principal medio para realizar análisis socioespaciales. Aquí se incorporan las variables de localización (x y), las de atributos (z) y de tiempo (t) en estudios interdisciplinarios.

La transformación del mundo real en digital exige una serie de modificaciones mediante procedimientos informáticos que finalizan a nivel de bytes. Según el procedimiento realizado, cualquier objeto geográfico puede definirse digitalmente a través de una geometría particular (punto, línea y polígono), una localización precisa en el espacio absoluto (coordenadas planas, x e y; o geográficas, latitud y longitud), una serie de atributos (campos de información-variables o capas temáticas o layers) y su existencia en un momento histórico (en el momento de realización de

³⁰ <http://www.sigagropecuario.gov.ar/docs/mapas-info/GIS/documentos/Buzai-Matteucci-GA2002.pdf>

las mediciones).(Buzai, G.; 2007)

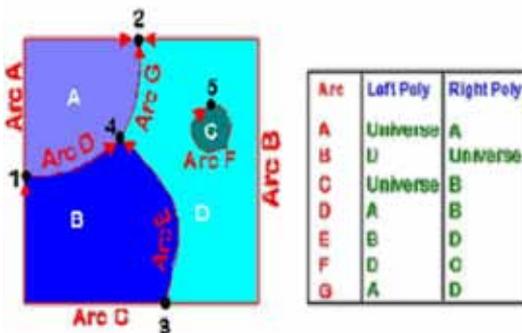
4.1. Análisis Espacial

Se entiende por análisis espacial al proceso empleado para asistir la toma de decisiones y resolver problemas relacionados con la geografía en temas de medio ambiente, economía y negocios, variables sociodemográficas, agricultura, hidrografía, entre otros.

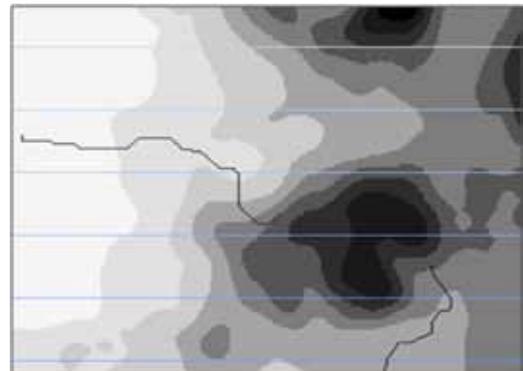
También se lo puede definir como la búsqueda de relaciones, patrones y tendencias entre fenómenos que ocurren en un determinado espacio geográfico. En este sentido, el tiempo (dato temporal asociado al momento de ocurrencia del fenómeno) es un componente más a tener en cuenta. Las relaciones que se establecen entre elementos de una capa pueden ser de contigüidad (Fig. 110) y/o conectividad (Fig. 111).

Figura 110. Relaciones de contigüidad

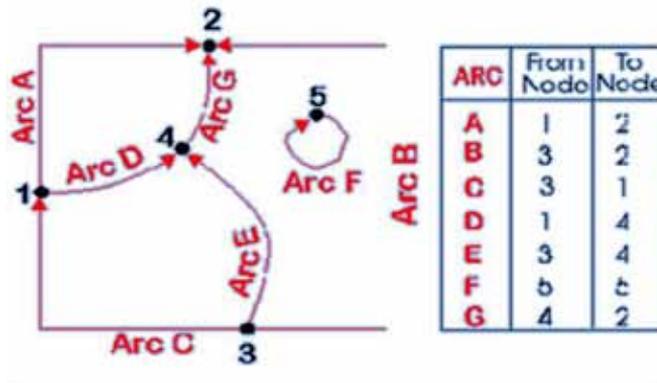
Modelo vectorial



Modelo raster



Fuente: Eric Kleinjan, 2003

Figura 111. Relaciones de conectividad

Fuente: Eric Kleinjan, 2003

4.2 Consulta Espacial

Se entiende por consulta espacial a la utilización de las relaciones espaciales existentes entre elementos geográficos de una o varias capas, para obtener un subconjunto de datos que satisfagan una condición preestablecida. Las principales consultas se refieren a los objetos que satisfagan las siguientes condiciones:

- Cercano a
- Se intersecta con
- Contiene a
- Es contenido en

Además, a través de las herramientas de consultas espaciales que tienen los Sistemas de Información Geográfica, es posible realizar la creación de corredores o áreas de influencia (buffers) de un evento o fenómeno (Fig. 112).

Figura 112. Creación de corredores (buffers)

Fuente: Eric Kleinjan, 2003

Capítulo 5. Algunos desarrollos recientes en programas libre de Sistemas de Información Geográfica

Existe gran cantidad de programas libres, haciendo referencia tanto a visualizadores como a editores de información geográfica, que permiten operar con distintos tipos de imágenes y datos geográficos sin tener que contar necesariamente con un programa restringido.

5.1 Visualizadores de información geográfica

- ViewFinder. Este programa permite operar con distintos formatos de imágenes: ERDAS IMAGE IMG, TIFF, GEOTIFF, JPG, entre otros. Permite navegar de forma ágil por imágenes de gran tamaño.
- TatukGIS Viewer. Permite operar, entre otros, con los siguientes formatos de imagen: TIFF, JPG, IMG, ESRI shapefile (SHP).
- ER Viewer. Este programa permite operar con los formatos JPEG 2000, JPG, TIFF, GEOTIFF, entre otros.

- ArcExplorer. Permite operar con: ESRI SHP, ArcIms, TIFF, GEOTIFF, GIF, entre otros.
- FreeView Geomatica de PCI Geomatics. Este programa permite trabajar con gran cantidad de formatos, entre los cuales se pueden nombrar AutoCAD, Erdas Imagine IMG, ArcView SHP, JPEG.
- Quantum GIS (QGIS). Permite trabajar con los siguientes formatos: SHP, PostGIS, GRASS, GeoTiff, TIFF, PNG, JPG.
- MapSheets Express. Permite operar con los siguientes formatos: ERDAS IMAGINE IMG, ESRI SHP, coberturas y grids de Arc/Info, TIFF, JPEG.

5.2 Editores de información geográfica

A continuación se presentan los programas según su accesibilidad:

Programas no libres, comerciales: ArcGIS (ArcView, ArcInfo), Mapinfo, Maptitude, Geomedia, Geoconcept, GenaMap, Autodesk Map, MicroStation Geographics, Bentley PowerMap, GeoWeb Publisher, SmallWorld, Manifold, Idrisi, MapPoint, TatukGIS, TNT mips, MiraMon, AutoCad Map, Erdas Imagine, Envi y otros.

Programas libres: GRASS GIS, JUMP, MapServer, Quantum GIS, Sextante (SIG raster, con herramientas de análisis hidrológico, morfológico, etc. desarrollado por la Junta de Extremadura), SAGA GIS, Kosmo, Ilwis (SIG que integra información raster y vectorial. A partir del 1 de Julio de 2007 se convierte en un programa de código abierto, bajo la iniciativa 52o Norte), Spring, FGIS y SavGIS (SIG gratuito y completo disponible en francés, inglés y castellano, desarrollado desde 1984 por el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia-IRD). Además:

- MapWindow. Este programa trabaja con los siguientes formatos: ESRI Grid, ESRI SHP, dBase (DBF), ESRI TIN, MWPRJ (ficheros de proyecto en formato propio basado en XML).
- Forestry GIS. Visualiza imágenes JPG, TIFF, GeoTIFF, BMP, IMG, JPEG2000 y PNG, archivos vectoriales SHP, entre otros.

- Udig. Permite operar con los siguientes formatos: PostGIS, ESRI SHP, ArcSDE, Oracle Spatial, TIFF, PNG, JPG, entre otros.
- GVSIG. Se trata de un visualizador-editor que accede a los formatos más usuales (ráster y vectoriales). Entre los formatos que puede utilizar se encuentran: ArcView SHP, MicroStation DGN (hasta la versión 7), DXF de tipo ASCII (no se acepta el binario), DWG2000 (OpenDWG), SVG, ER Mapper ECW, TIFF (tanto GeoTiff como TIFF con TFW), JPG, JPG2000, PNG, GIF, IMG, mrSID, WMS, WCS. Exportación a PDF, SHP, DXF, capas de datos geográficos en PostGIS y MySQL y conexiones JDBC a información alfanumérica también en PostgreSQL y MySQL. Se tratará con más detalle en el punto siguiente.

5.2a Programas libres

Características generales

gvSIG

GvSIG es un proyecto SIG de código abierto financiado y desarrollado por la Generalitat Valenciana. Brinda la posibilidad de integrar datos locales o remotos en una vista. De este proyecto existen versiones en distintos idiomas.

En gvSIG, al igual que en ArcView, los distintos componentes que formarán parte de la composición de mapas se localizan en un proyecto, en este caso con extensión “.gvp”, el que está formado por vistas, tablas y mapas (los layout en ArcView).

Se puede escoger el datum, la proyección y el uso de la vista.

Su interfaz gráfica es similar a la de ArcView: se compone de una ventana principal, en la que se sitúan las distintas herramientas, y ventanas secundarias, que conforman los documentos propios del programa.

A diferencia de ArcView, habilita el botón secundario del Mouse para poder elegir cambiar las propiedades de las capas de información (color, tramado, etc.), como así también copiar, pegar o eliminar las mismas.

Entre las opciones de edición permite copiar, pegar y cortar vistas, tablas y mapas de un proyecto a otro. Cuenta con un localizador que permite situar el encuadre actual en el total del área de trabajo.

En cuanto a los tipos de leyendas, gvSIG soporta valor único y temático, por rango y valor.

Desde la versión 0.4, gvSIG permite agrupar diversas capas en un grupo. Esto resulta útil porque permite tener en la tabla de contenidos o materias gran cantidad de capas sin que ocupen mucho espacio, a la vez que permite realizar operaciones sobre todas las capas que forman el grupo de manera simultánea.

También cuenta con la opción "Gestión de encuadres", la cual permite guardar el zoom actual de la vista o encuadre con el fin de poder volver a él en cualquier momento.

Además tiene la opción de limitar la escala a la que se podrá visualizar una determinada capa.

Al igual que en ArcView, se pueden realizar consultas espaciales y medir distancias. Por otra parte, permite realizar mediciones de áreas totalmente arbitrarias, cuyo resultado se visualiza directamente en la vista, a diferencia de ArcView, en el que se puede conocer el área de los polígonos que conforma el tema consultando en la tabla de atributos.

Cuenta con una herramienta similar a "Definition" de ArcView, con la que se pueden definir los elementos que se quiere que representen al tema. En este caso la herramienta se llama "seleccionar por atributos" y las consultas se realizan mediante operadores lógicos, tales como "igual que", "mayor que", "distinto a", etc. Por otro lado, permite hacer consultas espaciales del tipo intersección, superposición, cruces, que estén contenidos, que sean iguales, sean disjuntos o se toquen, en este caso la herramienta se llama "selección por capas".

En gvSIG el etiquetado de los temas se puede hacer generando una nueva capa.

En este programa se puede visualizar tablas y realizar selecciones

mediante filtros que permite definir lo que se desea seleccionar, incluyendo varios atributos, operadores y cálculos. Las consultas que se pueden realizar son operadores lógicos, tales como "igual que", "mayor que", "distinto a", etc. También permite obtener los valores estadísticos más utilizados. A su vez, permite unir y enlazar tablas de la misma forma que ArcView.

Una cuestión interesante a tener en cuenta es el hecho que, desde la versión 0.5, gvSIG es capaz de leer información contenida en un fichero de texto sin formato, cuyos campos están separados por punto y coma, como así también tablas desde determinados servidores.

En cuanto a la edición de capas, al igual que en ArcView, puede hacerse seleccionando las órdenes desde la barra de herramientas o activar las herramientas mediante su selección en la barra de menús (aquí la pestaña se llama "Geometría"). De esta manera se puede, por ejemplo, agregar calles a la capa que las contiene.

Por otra parte, la edición puede hacerse mediante la inserción de órdenes en una consola de comandos, usando el teclado. Entre estas órdenes se encuentra: línea, polilínea, punto, multipunto, arco, elipse, círculo, rectángulo y polígono, a las que se les puede aplicar las siguientes herramientas: copiar, realizar dibujos simétricos, rotar, escalar un dibujo en relación a otro, editar vértices y realizar polígonos internos. A su vez, gvSIG permite crear nuevas capas (de puntos, polígonos, líneas) y convertir a shape los elementos seleccionados. En este último caso se debiera seleccionar la opción "exportar a" que se encuentra en la pestaña Capa. Allí se puede elegir con qué formato realizar la operación (SHP, dxf, PostGIS o GML).

Otras opciones interesantes con la que cuenta este programa son:

- "Rejilla", que es un patrón de puntos que se extiende a lo largo del área de dibujo (a la cual se le puede configurar las propiedades), el cual permite alinear objetos y percibir la distancia entre ellos.
- "Pila de comandos", que permite deshacer/rehacer varias órdenes

en la misma acción y brinda información sobre las órdenes que se han realizado, como el nombre y la hora en la que se realizaron.

- Crear áreas de influencia, la que se guardan como un archivo de tipo .shp y se agregan como una nueva capa en la vista.
- Recortar (Clips), que permite extraer de una capa una zona de interés para trabajar. Para ello, es necesario proporcionar una "capa de entrada" (la capa de la que se quiere extraer un zona) y una "capa de recorte", cuyas geometrías definirán el ámbito de trabajo. Por ejemplo, se puede recortar la capa NBI (capa de entrada) que caiga dentro de la capa zonas anegables (capa de recorte). De esta manera quedará determinada un capa cuyos polígonos están constituidos por las zonas anegables, que a su vez están subdivididas en radios censales que me muestran el NBI de esas zonas. Esto también puede hacerse en ArcView pero el procedimiento es diferente.
- Dissolver, que actúa sobre una sola "capa de entrada", la cual debe ser de polígonos. Este proceso analiza el valor de un campo específico (dado por el usuario) par cada polígono de la capa, de forma tal que fusionará en un solo aquellos que tomen idéntico valor. Además, permite establecer que los polígonos a fusionar sean también adyacentes.
- Para el Layout este programa cuenta con la herramienta "regla", que facilita el armado del mapa. A diferencia de ArcView, se tiene la opción de desvincular el layout de la vista, de modo tal que las modificaciones que se hagan en ella (cambiar color, añadir capa, etc.) no se reflejen en éste. Se puede insertar vistas, imágenes, escala, norte, leyenda, gráficos y textos.
- En cuanto a la escala, se puede seleccionar que ésta sea: Automática, en este caso cualquier cambio de escala que haga en la vista se verá reflejado automáticamente en el mapa. Que conserve la escala de visualización. En este caso, aunque cambie de escala en la vista (haciendo zoom, por ejemplo), esto no se reflejará en el mapa.

Definida por el usuario, que permite introducir una escala determinada.

Por otra parte, el programa tiene la opción "Grados", que permite especificar una rotación al insertar la vista en el mapa. Esta opción también aparece en el resto de elementos que puede insertar: imágenes, escalas, leyendas y textos.

Otra opción es "Herramientas de navegación por la vista". Mediante éstas se puede navegar por una vista insertada del mismo modo que si estuviera en el tipo de documento "Vista".

Al igual que en ArcView, las leyendas pueden simplificarse y los mapas pueden guardarse como plantillas.

Los mapas obtenidos se pueden exportar a pdf y ficheros postScript.

fSIG

Es un programa de licencia gratuita (sólo para la versión 1). Su interface es sencilla. Los proyectos se guardan con extensión ".ttkqp". Se puede trabajar con archivos ArcView con extensión .shp a los cuales se les puede modificar sus propiedades (como por ejemplo, la ruta de acceso), elegir un rango de escala al que será visible, etiquetar y crear gráficos de barra o torta y modificar algunas cuestiones de aspecto como el color la trama, etc. Por otra parte, permite crear shp nuevos de línea, puntos o polígonos y editar los ya existentes.

Al igual que en el ArcView, se pueden realizar consultas espaciales y medir distancias. En este caso, el usuario puede definir uno o varios segmentos que encierren o no un área, y al hacer doble clic con el botón derecho aparece una pequeña ventana con los datos consultados. De esta manera este programa permite medir áreas totalmente arbitrarias.

Cuenta con una herramienta similar a "Definition" de ArcView, con la que se puede definir los elementos que se quiere que representen al tema. En este caso, la herramienta se llama "Search" y las consultas se realizan mediante operadores lógicos, tales como "igual que", "mayor que", "distinto a", etc. Por otra parte, permite hacer consultas espaciales

del tipo intersección, superposición, cruces, que estén contenidos, que sean iguales, sean disjuntos o se toquen, en este caso la herramienta se llama "Spatial Selection".

Los mapas creados pueden exportarse a archivos de imagen del tipo JPEG, TIRR, BMP o PMG. Por otro lado, permite enviar un mapa a un documento de Word (nuevo o existente) con una escala y resolución determinada. A su vez, brinda la posibilidad de exportar sólo las leyendas como una imagen.

Al igual que en ArcView, se pueden unir tablas (join) desde Access. También permite hacerlo desde dBase.

Otras acciones importantes se refieren a la lectura de datos de un GPS en tiempo real y, con esa información de campo, generar mapas en 3D.

Una desventaja que presenta es que varias de las acciones no cuentan con botones de acceso directo, por lo que es necesario acceder a ellas desde la barra de menú.

Capítulo 6: Infraestructuras de Datos Espaciales

Desde 2004 organismos oficiales de Argentina han pronunciado la necesidad de contar con información geoespacial integrada a escala nacional, regional y urbana. En función de esa necesidad se elaboró el Proyecto Prosiga que permite conformar la Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina (IDERA).

De forma consensuada se elaboraron documentos que dan cuenta de las características técnicas y los procedimientos que permiten definir: la estructura de representación de la información espacial, la calidad de datos, la adopción de los estándares y tecnologías para la generación de los metadatos, así como los servicios estandarizados que conformarán la IDERA.

Inicialmente el proyecto se basó en la tecnología SIG, que básicamente consiste en representar la información geográfica a través de gráficos con

sus atributos almacenados en BBDD relacionados con los mismos. Internet para la difusión de la información, servidores de mapas para distribución de datos y una interconexión segura de redes entre nodos, VPN, teniendo también como alternativa la posibilidad de brindar un servicio de datos clasificados.

A partir de mediados del año 2006 el proyecto adoptó las tecnologías y filosofías de IDE junto con las Normas ISO del TC 211 y del OGC, como base para poder concretar los objetivos perseguidos. Esta elección facilitó en gran medida la implementación de aplicaciones y facilidades que inicialmente no ofrecían la fiabilidad y calidad que el proyecto demandaba para brindar los servicios previstos.

Entre las ventajas que brinda se puede mencionar:

El acceso remoto a la información a través de Internet.
La disponibilidad de visualización simultánea de la información geoespacial por los que planifican y ejecutan diversos tipos de operaciones.
La actualización simultánea desde distintos organismos de un gran volumen de datos.

El acceso a información integrada de distintas escalas de captura, nacionales o regionales a urbanas.

La exigencia a los organismos generadores de datos de trabajar bajo normas y estándares que aseguren la integración de los mismos y la posibilidad de evitar la superposición y duplicidad de esfuerzos.
Se han adoptado las normas internacionales ISO-TC 211y del OGC como estándares del proyecto.

Posibilidades de empleo de programa libre o propietario para la publicación y consulta de la información.

No se requiere adquirir licencia alguna o producto en particular para producir o utilizar la información del proyecto.

Actualmente los organismos participantes son:

Instituto Geográfico Nacional (IGN) ex Instituto Geográfico Militar (IGM)
Secretaría de Energía

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación (SAGPyA)

Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA)

Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS)

Equipo de Trabajo Interdisciplinario en Sistemas de Información Geográfica de la Provincia del Chaco (ETISIG Chaco)

Instituto Nacional de Censos y Estadísticas (INDEC)

Administración de Parques Nacionales (APN)

Centro Argentino de Cartografía (CAC)

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA)

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAYDS)

Universidad Católica de Salta

Universidad de Catamarca

Universidad de La Punta

Universidad del Salvador

Municipalidad de Malvinas Argentinas (Pcia. de Bs As)

Municipalidad de Junín (Pcia. de Bs As)

Municipalidad de Luján (Pcia. de Bs As)

Municipalidad de Viedma (Pcia. de Río Negro)

Municipalidad de Rosario (Pcia. de Santa Fé)

Municipalidad de La Plata (Pcia. de Bs As)

Estándares de representación³¹

En nuestro país se encuentra en desarrollo la Infraestructura de datos espaciales que pone al servicio de los usuarios información a diversas escalas. Con el fin de permitir una visualización comprensiva e integrada de las capas a en el visor PROSIGA, se definió la simbología que deberá utilizarse para una serie de capas consideradas básicas a diferentes escalas.

Asimismo, el proyecto contempla que frente a la posible ausencia de

³¹ Definición de Requerimientos y Estándares Técnicos para la Representación de Datos Geoespaciales. Proyecto Sistema de Información Geográfica Nacional de la República Argentina – IDERA. 16 de abril de 2008

simbología temática, el organismo adherente definirá la simbología a utilizar, la cual se incorporará al documento de estándares técnicos.

En el anexo 2 se presenta la lista de los estándares propuestos por el PROSIGA a distintas escalas.

ANEXO

ESTRUCTURA DE REPRESENTACIÓN DE DATOS GEOESPACIALES. DATOS PROVINCIALES, REGIONALES, Y LOCALES (SUJETO A LA INCORPORACIÓN DE INFORMACIÓN A CADA UNA DE LAS ESCALAS)

Tema: división principal

Sub-tema: cuando coincide con la cobertura, no es necesaria su repetición.

Coberturas: Nombres propuestos de coberturas. Cada organismo incorporará sus coberturas cuando lo considere necesario, considerando en principio los nombres propuestos, o proponiendo los nuevos o modificaciones.³²

Datos Nacionales

Nº	CAPA	CONTENIDO DE CAPA	TIPO	ESTILO	COLOR (RGB)	GROSOR
1	RIOS PERMANENTES	Acequia Permanente; Arroyo Permanente; Cajón Permanente; Canal Permanente; Canal de Riego Permanente; Cañada Permanente; Cañadón Permanente; Evergreen Flat Permanente; Quebrada Permanente; Riacho Permanente; Río Permanente; Zanjón Permanente	LINEA	SIMPLE	153,255	1
2	RIOS INTERMITENTES	Acequia Intermitente; Arroyo Intermitente; Cajón Intermitente; Canal Intermitente; Canal de Riego Intermitente; Cañada Intermitente; Cañadón Intermitente; Evergreen Flat Intermitente; Quebrada Intermitente; Riacho Intermitente; Río Intermitente; Zanjón Intermitente	LINEA	SIMPLE	51,204,255	1
3	CAMINOS PRINCIPALES	Autopista; Ruta	LINEA	SIMPLE	255,51,51	2
4	CAMINOS SECUNDARIOS	Camino	LINEA	SIMPLE	102,51,0	2

³² Con respecto a la definición de escalas mínimas de visualización y etiquetado y la simbología, actualmente se está trabajando en el tema para complementar los Anexos 4 y 5. Definición de Requerimientos y Estándares Técnicos para la Representación de Datos Geoespaciales. Proyecto Sistema de Información Geográfica Nacional de la República Argentina – IDERA. 16 de abril de 2008

5	CAMINOS RURALES	Huella; Picada; Senda	LINEA	SIMPLE	128,128,128	2
6	VIAS FERREAS	Nombre Trocha	LINEA	HASLINES-YMBOL	-----	----- ---
7	LAGOS PERMANENTES	Aguada o Manantial Permanente; Bahía Permanente; Bajo Permanente; Bañado Permanente; Barrial Permanente; Caleta Permanente; Canal Permanente; Cañada Permanente; Ciénaga Permanente; Dique Permanente; Embalse Permanente; Ensenada Permanente; Estero Permanente; Estrecho Permanente; Fiordo Permanente; Golfo Permanente; Lago Permanente; Laguna Permanente; Mar Permanente; Océano Permanente; Ría Permanente; Río Permanente; Salina o salitral Permanente Vega Permanente	POLIGONO		204255	
8	LAGOS INTERMITENTES	Aguada o Manantial Intermitente; Bañado Intermitente; Barrial Intermitente; Cañada Intermitente; Cañadón Intermitente; Ciénaga Intermitente; Cuenca Intermitente; Estero Intermitente; Guadal Intermitente; Laguna Intermitente; Lagunilla Intermitente; Salina o salitral Intermitente	POLIGONO		0,0,255	

9	ACTIVIDADES HUMANAS	Aduana Aeródromo; Aforo (Estación de control del Cause del Río); Antena de Microonda; Autodromo; Baliza; Balneario; Balsa; Bar; Base aérea; Boya; Buque a pique; Campo Militar; Capilla; Cementerio; Central hidroeléctrica; Central termoelectrónica; Centro de Exposición; Cultural; Club; Colegio; Comisaría; Compañía de Petróleo; Correo; Destacamento Policial; Destilería; Dirección Provincial de Agua; Embarcadero; Escuela; Estación de Servicio; Estación de Tratamiento de deshidratación; Estación Meteorológica; Estación Radioeléctrica; Estación Radioteléfonica; Fábrica; Faro; Fondadero; Fortín o fuente; Gendarmería nacional; Guardaparque; Hipódromo; Horno de cal; Hotel; Mina o Cantera; Muelle; Oficina Postal; Oficina telefónica; Oficina Telegráfica; Pista de esquí; Planta Compresora; Planta de Gas; Planta de tratamiento o bombeo; Planta refrigeradora; Polígono de Tiro; Pozo de Petróleo; Puerto; Puesto caminero; Puesto Caminero; Puesto Gendarmería; Radio; Receptora de TV; Ruinas; Sala de Primeros auxilios; Semillero; Tanque de combustible; Templo; Torre radiotransreceptora;	PUNTOS	STAR	51,102,5	13
		Usina; Usina eléctrica; Usina geotérmica; Vialidad; Vivero; Yacimiento				
10	ACCIDENTES GEOGRÁFICOS ESPECIALES	Campo de Hielo; Cayo; Glaciar; Isla; Isleta; islote; Nieve o hielo persistente; Nunatac;	POLIGONO		128,128,128	-----

11	PUNTOS DESTACADOS	Abra; cerro; Colina; Cumbre; Hito; Loma; Marca altimétrica; Marca Azimutal; Médano; Meseta; Mogote; Monte; Morro; Pampa; Paso o Portezuelo; Pico; Punto trigonométrico; Punto acotado; Punto astronómico; Sierra; Volcán	PUNTO	star	255,0,0	8
12	PUENTES	Badén; Dique; Muro de embalse; Puente; Puente colgante; Represa; Túnel; Vadeo; Viaducto Férreo	PUNTO	cross	102,51,0	8
13	LIMITES ADMINISTRATIVOS		LINEA SIMPLE			
14	LIMITES ADMINISTRATIVOS	ADMINISTRATIVO	POLIGONO		255,200,0	

15	ESPACIOS GEOGRÁFICOS NATURALES Y ANTRÓPICOS	Nieve o Hielo Persistente; Ventisquero, Glaciar, Morena; Cumbre rocosa; Afloramiento rocoso; Medano; Duna; Arenal; arenal con ripio y Canto Rodado; Pedregal; Escorial; Hoyal; Rajadural; Tacuruzal; Cangrejal; Barrial; Barrial; Guadal; Ciénaga; Trenal; Tembladeral; Embalsado; Mallin Vega; Plantaciones Perennes; Viñedo; Arrozal; Pajonal; Juncal; Malezal; matorral; Jarilla; Pasto tóxico; Malezal tipo correntino; Palmar; Coníferas; Bosque:selva; foresta; Parque Natural Transitable; Cañaveral Natural; Cañaveral Artificial; Vegetación Leñosa; Bosque Quemado; Zona Desmontada; Huaico o Guaco; Paleocauce o Cauce abandonado; Bañados; Esteros; Cañadas; Planta urbana; Parque artificial; Playa de piedra o restinga; Playa de arena; Playa de grava o canto rodado; Cordones o acumulaciones de conchillas; Uso de Tierra Mixto; Bosque en Galería; Parque Industrial; Central Nuclear; Central Hidroeléctrica; Ríos de Piedra; Morena con suelo turboso; Afloramiento Rocosos con Suelo Turboso; Suelo Turboso de Malvinas	POLIGONO			
16	CURVAS DE NIVEL	Cota	LINEA	SIMPLE	227,127,127	1
17	EDIFICIOS	Edificio	PUNTOS	SQUARE	51,102,51	6
18	INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA	Apeadero; Desvío; Estación; Estación FFCC; Estación FFCC y Correo	PUNTOS		255,0,255	8
19	CENTROS POBLADOS	Barrio; Caserío; Ciudad; Colonia; Cuartel; Localidad; Municipalidad; Paraje; Pueblo; Villa	PUNTOS			7

20	INFRAESTRUCTURA RURAL	Almacén; Aserradero; Boliche; Cabaña; Campamento; Camping; Campo; Chacra; Criadero de Zorros; Establecimiento; Estancia; Finca; Galpón de Esquila; Madero; Obrador; Potrero; Puesto; Quinta; Refugio; Tambo; Tapera; Vivero; Forestal	PUNTOS	TRIANGULO	0,0,255 8	
21	REDES GEODESICAS	Extremo de Base; Mareógrafo; Nodal; PAC; Pilar Astronómico; Pilar de Azimut; Punto Fijo; Punto Trigonométrico; Saga	PUNTOS	TRIANGULO	27.127.127	7

Datos locales

Nro	Capa	Tipo	Estilo	Color RGB	Grosor /Tamaño
1	Manzanero	polígono	sin línea de borde	255,204,153	
2	Ejes de Calle	línea	Sólida	192,192,192	1
3	Espacios verdes	polígono	sin línea de borde	0,213,133	
4	Veredas	polígono	sin relleno	0,142,165	1
5	Ferrocarril	línea	Sólida	130,130,130	1
6	Estaciones de Ferrocarril	punto	Círculo	130,130,130	10
7	Escuelas	punto	Imagen: escuelas, gif		
8	Bomberos	punto	Imagen: bombero, gif		
9	Comisaría	punto	Estrella		
10	Cines	punto	Imagen: cine, gif		
11	Museos	punto	Imagen: museos, gif		
12	Teatros	punto	Imagen: teatros, gif		
13	Hospitales	punto	Cruz	0,102,51	12

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Sección I

- Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional Subcomité de Geodesia. Grupo de Trabajo. "Sistemas geodésicos". 1999.
- Instituto Geográfico Militar, "Lectura de Cartografía", Buenos Aires. 1997.
- Institución Instituto Geográfico Militar. "Atlas de la República Argentina" Buenos Aires, datos corr. aum. reimpr. 2001.
- Joly, Fernand; "La Cartografía"; Ariel 2da Edición; Barcelona. 1982.
- Microsoft ® Encarta ® 2007. © 1993-2006. Microsoft Corporation.
- Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation.
- Monkhouse, F. J.; Wilkinson, H. R. "Mapas y diagramas: técnicas de elaboración y trazado". 1º edición Oikos-Tau : Barcelona, 1968.
- Pallejá, Ezequiel; Dias, Raul Ernesto. "Guia del Sistema de Posicionamiento Global. GPS". Traducción. CATEDRA DE GEODESIA. Facultad de Ingeniería - UBA. 1997.
- Raisz, Erwin; Mantero, José María. "Cartografía general". Trad. 7º edición Omega, Barcelona. 2005
- Robinson, Arthur H.; Sale, Randa, D.; Morrison, Joe L.; Muehrcke, Phillip C.; Ravella Vives, Josep M., rev.; Ferrer, Rosa María, trad. "Elementos de cartografía". 1ª Edición Omega, Barcelona, España. 1987.

Website:

- "BIPM - committees." BIPM: Bureau International des Poids et Mesures (www.bipm.org). 23 Apr. 2009 <<http://www.bipm.org/en/committees/>>
- "Diccionario de la lengua española - Vigésima segunda edición." Real Academia Española. 17 July 2009 <http://buscon.rae.es/draeI>
- "Instituto Geográfico Militar | República Argentina." Instituto Geo-

gráfico Militar | República Argentina. 22 Apr. 2009 <<http://igm.gov.ar>>.

- Index of /descargas/manuales." Instituto Geográfico Nacional | República Argentina. 17 July 2009 <<http://www.ign.gov.ar/descargas/manuales>>.
- "geoargentina.com.ar." geoargentina.com.ar. 22 Apr. 2009 <<http://www.geoargentina.com>>.
- Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía.." Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía.. 22 Apr. 2009 <<http://www.geo.upm.es>>.
- "Universitat Pompeu Fabra." Universitat Pompeu Fabra. 22 Apr. 2009 <<http://www.upf.edu>>.
- "Universidad Politécnica de Madrid - Centros y Campus Universitarios." Universidad Politécnica de Madrid. 22 Apr. 2009 <<http://www.upm.es/centros>>.
- "SHN - Cartas Náuticas. Generalidades." SHN - Servicio de Hidrografía Naval. 17 July 2009 <<http://www.hidro.gov.ar/Nautica/Gral-Cartas.asp>>.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. www.ambiente.gov.ar. 2007

Sección II

- Anderson, J.R., Hardy, E.E., Roach, J.T., & Witmer, R.E. "A land use and land cover classification system for use with remote sensor data". U.S. Geological Survey Professional. Paper, No.964, USGS, Washington, D.C. 1976
- Cátedra de aerofotointerpretación. UBA, Facultad de Filosofía y Letras. Profs. Marlenko, Natalia y Serrano, Cristina. Carrera de Geografía. Fichas de cátedra. 1987.
- Chuvieco, E., Teledetección Ambiental, Editorial Ariel, 2002.
- Curtois, M., and G.Weill. The Spot Satellite System. Reprinted from

Monitoring Earth's Ocean, Land and Atmosphere from Space-Sensors, Systems and Applications. Vol.97 of Progress in Astronautics and Aeronautics Series. 1985.

- Domínguez, Carballo. "Uso de las imágenes satelitarias en el estudio International Journal of Remote Sensing. An official journal of the Remote Sensing Society. Taylor & Francis. 1983.
- ITC Journal, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). The Netherlands.
- Joly, Fernand; "La Cartografía"; Ariel 2da Edición; Barcelona. 1982.
- Lenko, M. "Teledetección y recursos naturales". En: La naturaleza y sus recursos. Vol. XVIII. Nº2, Abril-Junio de 1982. Págs.2 a 9.
- Marlenko, Natalia y Serrano, Cristina, 1987. Cátedra de aerofotointerpretación. UBA, Facultad de Filosofía y Letras. Carrera de Geografía. Fichas de cátedra.
- Marlenko, N., "Interpretación visual". En: CNIE, 1981. Manual de Sensores Remotos. Capítulo 11. Buenos Aires.
- Pagel, S.F., "Teledetección". En: CNIE, 1981. Manual de Sensores Remotos. Capítulo 1. Buenos Aires.
- Pallejá, Ezequiel; Dias, Raul Ernesto. "Guia del Sistema de Posicionamiento Global. GPS". Traducción. CATEDRA DE GEODESIA. Facultad de Ingeniería - UBA.1997
- Pinilla Ruiz, Carlos. 1995. Elementos de teledetección.
- Raed, M., "Análisis radiométrico y espectral en percepción remota". En: CNIE. Manual de Sensores Remotos. Buenos Aires. 1981.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, Diccionario de la lengua española. Vigésima segunda edición. <http://www.rae.es>
- ROMER. FOTOGEOLOGIA APLICADA. EUDEBA, c 1969. xv, 136 p.

Website

- ASC - Ficher introuvable - CSA - File not found." Agence spatiale canadienne | Canadian Space Agency. 22 Apr. 2009 <<http://www.space.gc.ca/asc/eng/satellites/radarsat1>>; "MDA Information Pro-

- ducts - Geospatial Services." MDA Information Products - Geospatial Services. 22 Apr. 2009 <<http://gs.mdacorporation.com/>>.
- "CONAE ." CONAE . 22 Apr. 2009 <[www.conae.gov.ar/Publicaciones didácticas. N1/Conocimientos básicos sobre teleobservación satélites NOAA](http://www.conae.gov.ar/Publicaciones_didacticas.N1/Conocimientos_basicos_sobre_teleobservacion_satelites_NOAA)>
 - "ESA Portal." ESA Communications Portal. 17 July 2009 <<http://www.esa.int/esaCP/index.html>>.
 - "EUMETSAT - Monitoring Weather, Climate and the Environment." EUMETSAT - Monitoring Weather, Climate and the Environment. 22 Apr. 2009 <<http://www.eumetsat.int>>.
 - "Global Positioning System." Global Positioning System. 17 July 2009 <<http://www.gps.gov/spanish.html>>.
 - "Imágenes de Satélite - Global - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET." Nueva Web de la AEMET - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. 22 Apr. 2009 <<http://www.inm.es/web/infmet>>
 - Information - Analytical Center. <<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>>
 - "IRS." Satélites de Monitoramento . 22 Apr. 2009 <<http://www.sat.cnpm.embrapa>>
 - "Percepción Remota." Agricultura de Precisión - Investigación, Difusión y Capacitación. 17 July 2009 <<http://www.agriculturadeprecision.org/percrem/PercepcionRemota.htm>>.
 - WEB oficial de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos - FCEyN - UBA. 22 Apr. 2009 <<http://www-atmo.at.fcen.uba.ar>>."Spot Image - Satellite Images: SPOT and FORMOSAT-2. <<http://www.spotimage.fr/web/es/253--imagen-satelite-spot-formosat-2-kompsat-2-radar.php>>.

Sección III

- Armandio L.A. Texeira y A. Christofolletti. 1997. Sistemas de Información Geográfica. Diccionario Ilustrado. Editorial Hucitec. San Pablo.

- BRACKEN, IAN y WEBSTER, CHRISTOPHER. "Information Technology in Geography and Planning, Routledge, Londres. 1992.
- Buzai, G. "La exploración geodigital. Lugar Editorial. Buenos Aires." 2000
- Buzai, G., "Memorias del XI Conferencia Iberoamericana de Usuarios de SIG". Buenos Aires. 2007.
- Comas, D. y Ruiz, E. 1993. Fundamentos de los sistemas de Información Geográfica. Ariel Geografía. Editorial Ariel S.A. Barcelona.
- Kleinjan, E., 2000. Comunicación personal.
- Proyecto Sistema de Información Geográfica Nacional de la República Argentina – IDERA, "Definición de Requerimientos y Estándares Técnicos para la Representación de Datos Geoespaciales". 16 de abril de 2008
- Tomlinson, R.F. "The impact of the transition from analogue to digital cartographic representation" The American Cartographers, 15 (3), (1988)

Website

- "Instituto Geográfico Militar | República Argentina." Instituto Geográfico Militar | República Argentina. 22 Apr. 2009 <<http://igm.gov.ar>>.
- "Organization of American States - OAS." Organization of American States - OAS. 22 Apr. 2009 <<http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea65s/ch10.htm>>.
- "S.I.G. A G R O P E C U A R I O." S.I.G. A G R O P E C U A R I O. 22 Apr. 2009 <<http://www.sigagropecuario.gov.ar/docs/mapas-info/GIS/documentos/Buzai-Matteucci-GA2002.pdf>>
- "S.I.G. A G R O P E C U A R I O." S.I.G. A G R O P E C U A R I O. 22 Apr. 2009 <http://www.sigagropecuario.gov.ar/docs/mapas-info/GIS/definiciones/sig_definiciones.pdf>