

Cartografía geográfica. Fundamentos

Javier Espiago

Estos textos tienen su origen en el material distribuido a los alumnos de los cursos de Cartografía Digital Informatizada desde finales de la década de 1980. Después, se utilizaron en las licenciaturas y en los grados de Ciencias Ambientales y de Geografía. Ahora los hemos actualizado y corregido.

Capítulo I: Cartografía geográfica. Carácter geométrico fundamental

Agosto - 2018

*“Sin la descripción de los hechos es imposible su explicación”.
“La descripción es un proceso, una producción. La objetividad es un logro, no un dato. Los datos no son neutrales”.*

Cartografía Geográfica

Dentro de los conocimientos geográficos, con la cartografía se persigue la observación (directa, sistemática, comprobable y cuantificable) para la descripción y el estudio particular de la tierra, de sus configuraciones o morfologías, fenómenos y transformaciones. Dispone de una tradición instrumental, metodológica, de procedimientos, conceptos y categorías con un alto grado de formalización.

Hablamos de información georreferenciada cuando los datos geográficos, posicionados sobre la figura de la tierra, no se vinculan, necesariamente, con su representación que es una característica obligatoria en cartografía. Inicialmente, se ha definido como ciencia con tecnologías asociadas, pero en esos aspectos de las representaciones intervienen componentes artísticos, ideológicos o del lenguaje gráfico. La Asociación Cartográfica Internacional en el Diccionario Multilingüe de Términos Técnicos Cartográficos (1973) definía:

CARTOGRAFIAR: dibujar en su verdadera posición los elementos obtenidos por medidas o por otros métodos.

REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA: representación en forma plana o tridimensional de la tierra o de cualquier parte del universo o de fenómenos concretos o abstractos localizados en ellas.

EXPRESIÓN CARTOGRÁFICA: forma de representar gráficamente el terreno o los distintos aspectos geográficos¹.

Se organizaba en distintos apartados (áreas de estudio y ámbitos de actuación). En ese Diccionario las materias eran las siguientes²:

1. Cartografía y ramas de la cartografía.
2. Mapas y series de mapas.
3. Cartografía matemática.
4. Concepción y expresión cartográfica.
5. Redacción cartográfica.
6. Cartografía práctica.
7. Reproducción e impresión.
8. Distribución y empleo de los mapas.
9. Organizaciones profesionales.

Trataba de las operaciones cartográficas y creaba una tipología de mapas que entonces incorporaba pequeñas parcelas de documentación digital. Es una obra, aún válida, que nos habla del deseo de cooperación internacional controlada por las agencias oficiales de producción de mapas. La cartografía de esos momentos incluía 1.200 términos y era una actividad enteramente gráfica, de representación analógica³. Tampoco se habían extendido la cartografía ráster, las imágenes satelitales ni los mosaicos digitales procedentes de fotografías aéreas. Se estaban iniciando los sistemas de localización GNSS, los procedimientos informatizados para la obtención de datos, para la descripción de entidades o para su edición y representación. Estos avances han introducido nuevos análisis geográficos y nos sirven para un posible control de la cartografía editada que en su mayoría se sigue produciendo inicialmente por agencias públicas especializadas.

Además, accesibles en la red hay utilidades empresariales con coordenadas geográficas y coordenadas esféricas que sirven para las localizaciones en guías turísticas, en el tráfico (principalmente terrestre) o en la averiguación de servicios de variado tipo. No las despreciamos, parece que obtienen beneficios económicos, pero no se vinculan con nuestro estudio de lo geográfico. Tampoco, las cuestiones que como se dice en el Diccionario son ajenas a lo cartográfico, perteneciendo al ámbito de la topografía a grandes escalas. Esas agencias oficiales, aunque a veces se llaman geográficas, atienden a necesidades más amplias que las tratadas por nuestra disciplina.

Es destacable que la producción inicial de mapas no se lleva a cabo en laboratorios académicos con propósitos individuales. En origen, los cartógrafos trabajan dentro de instituciones, algunas privadas pero que son fundamentalmente públicas⁴. Algunas agencias se limitan a la obtención inicial de datos sin que se siga un análisis

¹ Entradas 52.1, 8.1. También se incluyen dentro de lo cartográfico, **expresión directa:** expresión de fenómenos y datos tal como aparecen en su observación o en la medida de sus valores (441.4), **expresión indirecta:** expresión de fenómenos y datos basada en posterior transformación de su observación o de los valores obtenidos por medición. (Se opone a "expresión directa", p. ej., cuando se representan valores medios o interpolados) (441.5).

² No se consideraban dentro de lo cartográfico "los conceptos relativos a la topografía, fotogrametría e impresión en general que no tengan relación especial con la cartografía".

³ "Es decir, la clasificación debe seguir el desarrollo de la producción, comenzando con el concepto ideal de representación cartográfica, elaboración de datos, métodos de realización, incluida la impresión hasta llegar al documento terminado y su utilización. Los instrumentos y materiales quedan también incluidos en tanto que se relacionan con métodos cartográficos especiales", Diccionario Multilingüe, op.cit. página LXVIII.

⁴ "In turn, these institutions serve, to some degree or another, the general goals of the particular society in which they are embedded." Chrisman, N.R., 1991: Institutional and Societal Components of Cartographic Research, Chapter 11 in MÜLLER, J-C. (ed.) Advances In Cartography, Elsevier.págs. 231-232

formal posterior. Suele ser el caso de la obtención de datos básicos en los mapas topográficos. Otras, prosiguen el estudio de los datos con su evaluación científica. Son destacables las agencias para el estudio geológico o del ambiente terrestre. De todas formas, siempre tendremos presente que la utilización geográfica de la cartografía no se limita a los objetivos administrativos (y políticos) de unas entidades oficiales que las leyes llaman “operadores públicos”.

La cartografía tiene un evidente carácter instrumental:

- Ha de entenderse como un instrumento sobre el que ninguna entidad pública tiene atribuidas competencias exclusivas o de monopolio. Es patente su carácter instrumental libre teniendo que contemplarse como una forma de descripción.
- No son necesarias titularidades para las actividades cartográficas ni existen concesiones de competencias cartográficas específicas que impidan a una entidad o a un particular su producción o elaboración.
- La capacitación de algunas entidades para el ejercicio del componente técnico instrumental de la cartografía no ha de utilizarse para la prohibición de trabajos de índole cartográfico a otras entidades o a particulares ni para la imposición de la exclusividad en las materias sobre las que se ejerciten⁵.

Ese carácter instrumental hace que existan cartografías muy diversas.

- Hay una producción cartográfica cuyo objetivo es el conocimiento científico como en los mapas geológicos o geobotánicos. La obtención oficial o general de estos datos se centra en las ciencias naturales. Todo estudio geográfico científico debería presentarse con fundamentación cartográfica. Otra cosa son las redacciones pseudo geográficas y las geografías retóricas.
- Es un instrumento o herramienta para el control del territorio de amplio uso administrativo, militar y fiscal⁶. Para estos tres casos se crean agencias especializadas.
- También es de utilidad práctica en:
 - navegaciones aérea y marítima o en los desplazamientos terrestres,
 - ingenierías de actuación territorial o medioambiental,
 - otras actividades de gestión, protección y administración territorial,
 - actividades de servicios.

Además, los mapas cumplen un papel auxiliar para cierta literatura territorial en la ordenación o apoyo del discurso. Suelen ser referencia inexcusable en las geografías científicas, literarias y retóricas.

En la utilización de la geografía en la propaganda ideológica se ha estudiado la propaganda cartográfica como un apartado diferenciado⁷. Se estudian específicamente, la deformación interesada de las proyecciones, su ámbito, la elección del lugar central, los títulos de los mapas, la toponimia, la presencia o ausencia, también arbitrarias, de elementos o entidades, las generalizaciones y las representaciones simbólicas. Como en otras formas de descripción, no están ausentes las falsedades buscadas o el uso selectivo de datos. Actualmente, se insiste en la

⁵ Estos apartados tan contundentes según el Tribunal Constitucional (Sentencia 76/1984).

⁶ “LIKE bombers and submarines, maps are indispensable instruments of war. In the light of the information they provide, momentous strategic decisions are being made today: ships and planes, men and munitions, are being moved” **WRIGHT**, John K.: Map Makers Are Human: Comments on the Subjective in Maps, *The Geographical Review*, Oct 1942, págs. 527-544.

⁷ “the usage of cartographic propaganda has increased remarkably alongside the rise of the modern state” (Black 1997; 2008).

influencia de los factores sociales y políticos sobre la forma en que se han concebido, producido y usado los mapas.

Desde la cartografía impresa, adquirió notoriedad su uso simbólico en la justificación de las variadas formas de apropiación territorial, particularmente las estatales⁸. El mapa aparece como símbolo o emblema para la aparente concreción de ideas abstractas siendo un instrumento ampliamente utilizado en el adoctrinamiento y la enseñanza. Su tecnología formal sirve para la legitimación de fronteras y para los sentimientos de pertenencia grupal⁹.

Digitalización, representación y sistema

Con la digitalización se han extendido los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que integran tecnologías informáticas de las bases de datos para la gestión georreferenciada. También utilizan Sistemas Gráficos para determinadas operaciones y para la obtención de algunas representaciones analógicas y digitales. En conexión con el Sistema de Gestión de Bases de Datos obtenemos otras propiedades como las de geometría topológica o de álgebra relacional¹⁰. Conseguimos el cálculo de propiedades geométricas y de simbolización gráfica, aunque este último es un apartado que no ha logrado su normalización internacional.

Facilitando, supuestamente, su explotación digitalizada, existen Normas para el registro, la ordenación y clasificación de los datos, para su publicidad y para el acceso mediante redes de comunicación. Pero es una normativa general sobre sistemas de información que no sigue un orden geométrico ni tampoco obliga a la representación. Es notable que esas normas de información geográfica que llegan a contemplar las representaciones, **no hablan nunca de cartografía**¹¹ que es lo que nos interesa a nosotros.

Las extracciones o explotación para el análisis geográfico son los procesos que resultan de las relaciones aritméticas, lógicas, topológicas, geométricas, estadísticas o algebraicas entre los elementos de la base de datos. También se incluyen las extracciones de las cadenas de caracteres, las preguntas que manejan textos. Los sistemas de gestión intentan resolver el significado geográfico de la utilización de operadores de otros lenguajes, formales o no. Los procedimientos para el análisis espacial mediante extracciones de la base de datos son las capacidades de transformación de la información para la obtención de resultados ligados a lo que en la informática de bases de datos se llaman lenguajes de preguntas (QL y SQL). Es lo que diferencia la simple producción cartográfica asistida por ordenador de los sistemas de gestión geográfica. Lo que los distingue de los DBMS convencionales es la incorporación a los QL de lenguajes de preguntas geográficas, los denominados operadores GeoQL. Por su parte, los resultados de las extracciones de información en un orden geométrico adquieren la forma de mapas, aunque también se obtienen resultados en forma de tablas estadísticas, gráficos y textos¹².

⁸ "The map is the perfect symbol of the state and has thus been used throughout history as a symbol of power and nationhood" en **Monmonier**, Mark (1996). *How to Lie with Maps*. Chicago: The University of Chicago Press. ISBN 9780226534213. As a symbol the map has served many purposes of the state including the exertion of rule, legitimation of rule, assertion of national unity, and was even used for the mobilization of war".

⁹ "Map and globe can be used as symbols for abstract ideas because they are familiar to the masses and they harbor emotive connotations. Maps are often incorporated as an emblematic element in a larger design or are used to provide the visual framework on which a scenario is played out". **Monmonier**, Mark (1996). *How to Lie with Maps*. Chicago: The University of Chicago Press. ISBN 9780226534213.

"Adolf Hitler's schoolroom map of "Deutschland" in 1935 presented all the German-speaking areas surrounding Germany without borders, claiming them as part of the Reich. This gave the impression that the Reich extended over Austria and the German speaking areas in Poland, Czechoslovakia, and even France". **Barber**, Peter and Tom Harper (2010). *Magnificent Maps: Power, Propaganda, and Art*. London: The British Library. ISBN 9780712350938.

¹⁰ Hay *puristas* que creen que únicamente con recursos de bases de datos podrían conseguirse también las operaciones geométricas (incluyendo las representaciones). A esta forma de actuación se atribuiría una aparente *elegancia teórica*. Aunque a veces se olvida, las bases de datos y los sistemas de información no coinciden con la cartografía.

¹¹ El término 618 se traduce en español como proyección cartográfica, pero en el original inglés es map projection. En esas normas aparece *mapping* que, en ocasiones, podría ser equivalente a cartografía.

¹² Una versión próxima a la del recuadro en **ESPIAGO, J.** "Gestión de la información geográfica" en AA VV: *El campo de las Ciencias y las Artes. Cartografía*. Madrid, Banco Bilbao Vizcaya Argentaria. 2000, página 75.

Las referencias más notables son las normas ISO/TC 211, la americana SDTS- DIGEST, las del Open Geospatial Consortium y, para Europa, la Directiva INSPIRE¹³. Hay también otras normas y disposiciones legales, militares y civiles, estatales y empresariales, aceptadas o en desuso. Los acuerdos científicos se centran en cuestiones de sistemas de coordenadas. Por otro lado, con la normativa legal y administrativa se recomiendan las delimitaciones de ámbitos de referencia, los tipos de mapas y sus contenidos y las formas de representación, analógicas o digitales, que afectan, sobre todo, a la cartografía oficial. Pese a ello, no es todavía una herramienta para un conocimiento completamente formal.

Las descripciones cartográficas de la tierra amplían sus posibilidades con el uso de nuevos sensores de observación y con el análisis digital, pero su comprensión y su ordenación siguen necesitando del tradicional bagaje metodológico de la geografía que forzosamente ha de adaptarse a estas nuevas tecnologías. Paralelamente, con la digitalización se ha aumentado la producción de cartografía de base y de cartografía temática en las agencias geográficas, ambientales, de la gestión territorial y de las infraestructuras. Además, la tierra se observa con sensores satelitales o aerotransportados con una precisión y accesibilidad cada vez mayores.

Carácter geométrico fundamental. Escala.

"Para el estudio geográfico no basta un orden numérico o de palabras siendo necesario un orden geométrico basado en coordenadas".

El fundamento de las observaciones y descripciones cartográficas es la introducción de un **orden geométrico y visual**¹⁴ en la localización de las informaciones sobre la tierra¹⁵. Con la ordenación geométrica se consiguen **cálculos** métricos de distancias, direcciones y superficies y se permite el **análisis** formal de asociaciones, correspondencias, superposiciones y otras relaciones espaciales. No pueden lograrse de forma satisfactoria

¹³ "Standardization in the field of geographic information is therefore imperative to support and simplify the sharing and usage of geographic information of different sources, i.e. interoperability", ISO 19101. En España, la normativa de la cartografía oficial tiene a la Ley de Información y Servicios de Información Geográfica (LISIGE) como la referencia principal. La cartografía oficial de las distintas administraciones territoriales se plantea actualmente con criterios de unicidad técnica o de procedimientos y de coordinación de actividades y producciones. La no repetición en la obtención de datos ha sido un objetivo fundacional de INSPIRE.

Ley 2/2018, de 23 de mayo, por la que se modifica la Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España.

Sobre la normalización de la información geográfica digital desde comienzos de la década de 1980 hay una publicación pionera: **MOELLERING, H.** (ed.) Spatial Database Transfer Standards: Current International Status, International Cartographic Association / Elsevier Applied Science, Londres y Nueva York, 1991, 247 páginas.

En el portal DIGEST se aportan los enlaces a:

- [Digital Geographic Information Working Group \(DGIWG\)](#)
- [International Organization for Standardization](#)
- [ISO/TC 211 Geographic Information/Geomatics Home Page](#)
- [National Imagery Transmission Format Standards \(NITFS\)](#)
- [CEN/TC Committee Geographic Information](#)
- [Open GIS Consortium. \[Actualmente, Open Geospatial Consortium\]](#)
- [International Hydrographic Organization](#)

¹⁴ El apartado 1.1.24 de la Base Topográfica Armonizada (BTA) insiste en la visualización cuando define mapa: conjunto de datos cartográficos, es decir, diseñado y producido para la visualización en forma de mapa, ya sea en papel (analógico) o en pantalla (digital), y orientado por lo tanto al ojo humano. Nota. Puede tener simbología (tramas, patrones de línea, símbolos puntuales), rótulos e información marginal (leyenda, cuadrícula, título, texto explicativo, etc.).

¹⁵ De forma más restrictiva se dice en ISO 19101: "indexing by location is fundamental in the organization and the use of digital data". También, "geometry provides the means for the quantitative description, by means of coordinates and mathematical functions, of the spatial characteristics of features, including dimension, position, size, shape, and orientation, ISO 19107, página X.

cuando se usan únicamente criterios de ordenación que sean numéricos, textuales o alfabéticos. La retórica geográfica tiene su contrapunto en la necesaria georreferenciación.

Los sistemas de gestión de bases de datos suelen conformarse a veces con un espacio matricial plano. En cambio, con la información georreferenciada se recurre al orden geométrico específico de la geografía (coordenadas geográficas) en la **definición de objetos y entidades**, en las **delimitaciones** de ámbitos territoriales, en la comprobación de las **escalas** de los fenómenos y los procesos geográficos o en las específicas proyecciones de los mapas. Con ese orden geométrico efectuamos un control formal y respondemos a dos cuestiones principales: cuáles son las entidades terrestres que se localizan relacionadas con otras entidades y cuáles son las entidades que encontramos en una localización delimitada. En esas respuestas obtenemos indicaciones, listados o relaciones y, lo que es característico, obtenemos representaciones territoriales que son la clave de la evaluación cartográfica. El control informatizado y el análisis con procedimientos visuales son rasgos diferenciadores en la actualidad. Llega a decirse que contamos con un lenguaje gráfico propio, conformado en siglos de existencia, pero entendido hoy de forma digital.

TEXTOS LITERARIOS Y GEOMETRÍA

La geografía geométrica ordenaba las informaciones e introducía cierto control intelectual en contraste con la abundante retórica especulativa o de exégesis pseudoerudita de los literarios geógrafos de la Antigüedad, la Edad Media y el Renacimiento. Los textos geográficos sin control cartográfico eran secuencias lineales de informaciones con un difícil y farragoso entendimiento de sus descripciones espaciales.

Con el lenguaje exclusivamente textual no se cuenta con procedimientos propios para la determinación de escalas o mediciones. Si en la literatura geográfica se expresa una reducción de escala, forzosamente han de utilizarse coordenadas o un mapa, aunque a veces no sean explícitos. Por su parte, en la descripción de las formas y figuras terrestres se emplean evocaciones que sólo pueden resultar de una cartografía previa. Los países, para los casos más enraizados, se aproximan metafóricamente a una bota, a una piel de toro, o a un león. También a pentágonos, hexágonos o triángulos. Otro método desfasado y tedioso empleaba retahílas de topónimos supliendo, con referencias literarias a su localización, una necesaria cartografía rigurosa. Les servía para cierta topología nombrada de forma compleja.

También se someten a una deconstrucción territorial los textos de literatura científica, aunque procedan de lenguajes formales. En su vertiente más científica, las propiedades y los fenómenos de la naturaleza terrestre suelen describirse mediante la eliminación de su componente territorial, con su deconstrucción o fragmentación en elementos o conceptos generales. Es un acercamiento a lo terrestre con un uso abusivo de categorías universales. Se reducen las manifestaciones geográficas de la particularidad-singularidad o de la diversidad y se eliminan relaciones geométricas presentes en la naturaleza.

Diferenciamos la cartografía que utiliza coordenadas geográficas (cartografía georreferenciada) de aquellas otras formas de ordenación con sistemas geométricos que no son específicos de lo geográfico¹⁶. La información georreferenciada es distinta a las planimetrías, los mapas topológicos o a los simples esquemas territoriales de los cartogramas y diagramas que no siempre utilizan una geometría rigurosa.

¹⁶ La cartografía georreferenciada incluye en la actualidad productos fotográficos obtenidos desde sensores aerotransportados o desde sensores orbitales que, cuando han sido editados para su transformación cartográfica, se denominan ortofotografías y ortoimágenes.

TIPOLOGÍA SEGÚN LA GEOMETRÍA

GEOMETRÍA GEOGRÁFICA: cartografía georreferenciada (incluye ortofotografías y ortoimágenes).

GEOMETRÍA EUCLIDIANA: planimetrías.

GEOMETRÍA TOPOLÓGICA: mapas topológicos.

Además, existen esquemas territoriales, cartogramas o diagramas de apariencia geográfica.

En sus comienzos, las representaciones territoriales utilizaban geometrías intuitivas, eran representaciones sin una geometría formal. Para territorios de reducida extensión y con una forma plana de la tierra surgió en distintas civilizaciones una geometría deductiva como en las civilizaciones mesopotámicas y de Egipto¹⁷. Fueron las planimetrías que se recibieron en la cultura griega, la única en el mundo que, además, logró un sistema geométrico esférico para las descripciones terrestres. Sus primeros textos conservados son del siglo III a. C. aunque reflejan conocimientos anteriores. La obtención de datos era de una precisión muy embrionaria. Pese a ello, la que llamaron geografía adquiría rasgos teóricos enteramente formales cuando otros conocimientos científicos tardaron en obtenerlos mil o dos mil años después de esa fecha.

“Al ser la herramienta que incorpora las propiedades y los cálculos de la geometría en aquellos análisis o descripciones en los que ha de intervenir el territorio, permite o facilita el entendimiento de sucesos o fenómenos que, de otra forma, serían de difícil descripción. La utilización de un procedimiento matemático o formal mejora las descripciones territoriales elementales o inmediatas propias de algunos discursos narrativos o literarios, de las aparentes modelizaciones numéricas sin geometría terrestre o de los simples repertorios estadísticos que siguen un orden alfabético (AZ) o un orden numérico (1, 2, 3...). Dicho de otra manera, la utilización de una geografía métrica surge cuando el orden numérico y el orden textual o alfabético resultan insuficientes en las descripciones y análisis de la tierra. Cuando para el estudio terrestre no basta un orden numérico o de palabras siendo necesario un orden geométrico basado en coordenadas...”

Las geometrías analítica, diferencial y proyectiva proporcionan a la cartografía una estructura teórica deductiva y la resolución de cuestiones teóricas y prácticas. Son de aplicación, así mismo, las geometrías topológicas para el estudio de relaciones espaciales¹⁸

Decíamos que la reducción de escala es siempre un proceso geométrico sin que para ella existan otros procedimientos mentales o intelectuales que puedan sustituirlo. Esa reducción es una operación central para la comprensión del mundo que habitamos. Con ella se establece la densidad o resolución geométrica en la que han

¹⁷ **Plano:** mapa en el que se representa una superficie de extensión suficientemente limitada para que se haya prescindido de la curvatura de la tierra en su formación y en el que se considere su escala como uniforme, Diccionario M 813.2. Podemos suponer que la esfericidad terrestre no actúa en extensiones limitadas, pero para su utilización con el resto de la información geográfica o cuando la agregamos en territorios amplios, los planos han de transformarse de tal manera que sean georreferenciados.

Pueden prestarse a confusiones los términos **mapa planimétrico:** mapa topográfico en el que sólo se representa la localización horizontal (811.3) y **carta plana:** nombre dado a los mapas en proyección cilíndrica ecuatorial con paralelos equidistantes. En inglés se dice: A map plotted on the **Plate Carrée** or on the Modified Plate Carrée Projection (812.1).

¹⁸ **ESPIAGO, J.** "Gestión de la información geográfica" en AA VV: El campo de las Ciencias y las Artes. Cartografía. Madrid, Banco Bilbao Vizcaya Argentaria. 2000.

de registrarse las informaciones cartográficas lo que afecta a la precisión de las mediciones geométricas. Teniendo en cuenta la escala, se construyen diferentes tipos de mapas. Por norma, todos los mapas se elaboran a una escala menor que la utilizada en la realidad que describen¹⁹.

“La escala geográfica es un concepto central que nos permite tomar conciencia del mundo en el que habitamos. Sin embargo, las escalas geográficas y cómo nos las planteamos son un concepto en profunda discusión. También la resolución espacial a la que se desarrolla cada proceso social así como el modo en el que hablamos de ellos, tiene importantes implicaciones para el entendimiento de nuestro mundo. De todos los conceptos que los geógrafos (y otros estudiosos) utilizan para comprender el mundo, la escala es uno de los más importantes, quizá el que más.”²⁰.

MÍNIMO DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA: mínima dimensión de un elemento gráfico que puede representar cartográficamente a escala un objeto real²¹.

TIPOLOGÍA SEGÚN LA ESCALA

Según sean su propósito y las exigencias de resolución geométrica, distinguimos los mapas para la construcción de proyectos con nivelaciones del terreno y el cálculo de volúmenes de excavación. Exigen una resolución o detalle de los datos que permitan representaciones a escalas 1: 200 – 1: 500. Cuando el propósito es el trazado de vías de comunicación puede llegarse a una resolución menor, permitiéndose representaciones hasta 1: 5 000. En el ámbito urbano son corrientes las escalas 1: 500 – 1: 2 000. En el de las propiedades rústicas, 1: 5 000. En todos estos casos, se habla de mapas a **escalas grandes**.

Las **escalas convencionales en cartografía de referencia** o de propósito general se definen en la actualidad a 1: 5 000, 1: 10.000, 1: 25.000 y 1: 50.000 aunque hay proyectos de interés geográfico general cuyos datos se capturan con resoluciones que solo permiten su representación a 1: 100.000.

Para **escalas más pequeñas**, del rango 1: 200.000 hasta 1: 1 000.000, los mapas suelen derivarse de la información obtenida en observaciones de proyectos anteriores. En los atlas representando territorios amplios se utilizan denominadores mayores aumentándose el esquematismo de los trazados.

¹⁹ Sobre esto **BROWN, P. y MOYER, D.** (eds.), (1989): Multipurpose Land Information Systems. A Guidebook, pág. 2- 6 aunque caigan en imprecisiones en asuntos básicos pues aseguran, erróneamente: “the scale of a map is the ratio of the length of a feature as measured on the map to the true length of the feature on the surface of the Earth, expressed as a representative fraction”, id id. Los geógrafos enteramente retóricos sustentan el que malignamente se denomina dogma de la inmaculada percepción. Para sus descripciones les basta con la observación intuitiva, cuando no artística, de lo que también llaman paisaje. En los mejores casos es una observación peatonal, válida únicamente para muy grandes escalas aunque en ejercicios voluntaristas se introducen sin explicación en reducciones de escalas. La complementan con retórica erudita y abundancia de citas. Cumplen su papel.

²⁰ **HEROD, A.:** Scale, Londres y Nueva York, 2011, págs. I y XI: “Geographical scale is a central concept enabling us to make sense of the world we inhabit... However, geographical scales and how we think about them are profoundly contested, and the spatial resolution at which social processes take place... together with how we talk about them, has significant implications for understanding our world”. “Of all the concepts that geographers (and others) use to understand the world around them, scale is a – or perhaps even the –central one”

²¹ Diccionario Multilingüe, op. cit. 421.13.

Geometría en mallas o rejillas

Con la digitalización, se ha extendido una cartografía basada en una geometría que reconoce inicialmente la totalidad de puntos de un ámbito espacial definiendo una malla²². Se especifica una trama o malla y se asocia un código a cada una de sus unidades que se llaman celdas o píxeles²³. Cada unidad define una posición por lo que serán los puntos de la representación (siempre a intervalos predefinidos), existiendo entre ellos una relación de contigüidad que indica su localización. El conjunto formado por una celda y el valor asociado a ella se denomina objeto ráster. Cada uno de los objetos ráster es indivisible.

RÁSTER (modelo ráster, formato ráster, estructura ráster, sistema ráster, modelo matricial).

1. Modelo utilizado en el registro de información geográfica y en la representación de imágenes mediante superficies, regulares e idénticas, sin solapes ni huecos, llamadas celdas o teselas, a las que se asocia un código numérico.
2. Modo de organización de datos que utiliza una malla finita a la que se asocia un procedimiento de codificación.
3. **En ISO**: de forma restrictiva, patrón generalmente rectangular de líneas paralelas escaneadas²⁴.

MALLA, GRID O TRAMA

1. Teselación de una superficie según una función que determina la localización de sus puntos.
2. Compartimentación o división del continuo espacial en fracciones geométricas discretas.
3. **En ISO**: red compuesta de dos o más conjuntos de curvas en la que los miembros de cada conjunto interseccionan a los miembros de los otros conjuntos en un procedimiento algorítmico. Nota. Las curvas dividen un espacio en celdas de malla (grid cells)²⁵.

PUNTO DE MALLA (grid point): en ISO, punto en la intersección de dos o más curvas de una malla²⁶.

FICHERO RÁSTER (capa ráster), GD (gridded data): en ISO, fichero cuyos valores están asociados a una malla²⁷.

²² Al ámbito espacial lo llaman **dominio espacial**.

²³ En español también encontramos la denominación de tesela. Es un nombre que algunos utilizan en traducciones para agregaciones de celdas. En general, para normas como las de ISO o DIGEST estos asuntos de la codificación y el almacenamiento se ven bajo la perspectiva preferente de su digitalización, que trataremos más adelante. Interesa ahora la geometría.

²⁴ Inspire D2.8.II.3_v2.0 utilizando ISO 19101-2 y otras. Se añade una nota: the resulting term "raster data" is often used colloquially in the field of geographic information to identify the whole class of data where the spatial geometry is organized into a, usually rectangular, grid.

²⁵ ISO 19123 adoptado sin cambios en glosario INSPIRE, <http://inspire.ec.europa.eu/glossary>

²⁶ ISO 19123 y glosario INSPIRE.

²⁷ A partir de ISO 19129.

CELDA: unidad bidimensional de una malla con una posición única dentro de ella²⁸.

OBJETO RÁSTER (celda ráster): *en ISO*, celda de una malla con un código asignado.

PÍXEL (acrónimo de picture element): elemento geométrico bidimensional de una imagen que es la unidad discreta de menor tamaño e indivisible a la que se asocia información. Su posición en la malla ha de estar indicada.

SISTEMA DE COORDENADAS MALLA: *en ISO*, sistema de coordenadas en el que una posición se especifica de manera relativa respecto a la intersección de curvas²⁹.

COORDENADAS RÁSTER

1. Coordenadas utilizadas en la posición de las celdas. Pueden ser coordenadas matriciales, coordenadas rectangulares o coordenadas geográficas, por ejemplo.
2. **En ISO, (coordenadas malla):** secuencia de dos o más números que especifican una posición con respecto a su localización en una malla³⁰.

DATOS MALLA: *en ISO*, datos cuyos valores de atributos están asociados con posiciones en un sistema de coordenadas malla³¹.

Otras características geométricas de la malla

La función de distribución de la malla (grid function distribution, coverage distribution function) define la organización espacial de las celdas, el orden de la distribución de la teselación del espacio. Se utilizan varias formas siendo la distribución más usual y la más simple aquella que organiza celdas cuadradas estructuradas en filas y columnas en un área rectangular finita. También se usan otros tipos de mallas regulares (como las triangulares y hexagonales) y mallas con funciones de distribución irregulares, pero de momento, no trataremos sobre ellas. Las estudiaremos en la asignación de valores y en el almacenamiento.

DIMENSIÓN Y (número de filas, altura): número de objetos ráster en el eje de ordenadas (y) descrito mediante un número entero mayor que 0. Indica el número de filas de la malla.

DIMENSIÓN X (número de columnas, anchura): número de objetos ráster en el eje de abscisas (x) descrito mediante un número entero mayor que 0. Indica el número de columnas de la malla.

RESOLUCIÓN DE IMAGEN: número de píxeles por unidad de longitud utilizada en la representación. Expresada en número de píxeles por pulgada (i) o por centímetro (cm) mediante valores enteros mayores que 0. Ejemplo: 400 ppi (píxeles por pulgada). También puede expresarse en número de píxeles por segundo o minuto de arco³².

²⁸ En glosario INSPIRE se define **celda de malla**: una celda delimitada por curvas de la malla.

²⁹ 19115-2

³⁰ 19115-2

³¹ 19115-2

³² En 1988 las normas de la OTAN (STANAG No. 4545, página A-11) ya definían **resolution**: (1) The minimum difference between two discrete values that can be distinguished by a measuring device. (2) The degree of precision to which a quantity can be measured or determined. (3) A measurement of the smallest detail that can be distinguished by a sensor system under specific conditions. Note: High resolution does not necessarily imply high accuracy. Se vuelve a encontrar en TOPIC_7_OGC_ que "is identical with ISO 19101-2". El subrayado es mío.

RESOLUCIÓN DE LA IMAGEN EN LA DIRECCIÓN X (resolución x): número de píxeles por unidad de longitud en el eje x. Densidad de los datos sobre el eje x. Expresada en número de píxeles por pulgada (i) o por centímetro (cm). Ejemplo: 400 ppi (píxeles por pulgada).

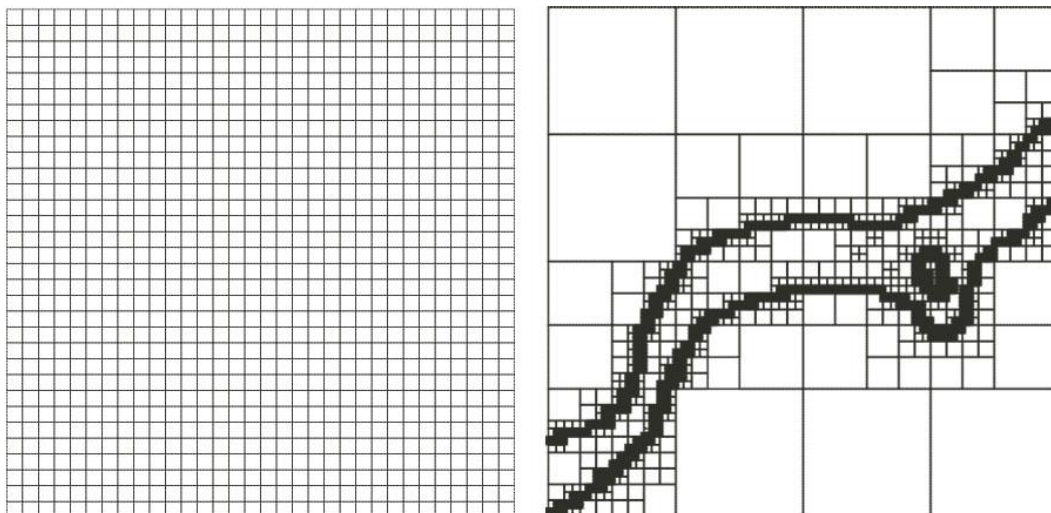
RESOLUCIÓN DE LA IMAGEN EN LA DIRECCIÓN Y (resolución y): número de píxeles por unidad de longitud en el eje y. Densidad de los datos sobre el eje y. Expresada en número de píxeles por pulgada (i) o por centímetro (cm). Ejemplo: 400 ppi (píxeles por pulgada).

ORDEN TRANSVERSAL (traversal order): *en ISO*, orden (sequence) en el que se numeran las celdas de una malla³³.

MATRIZ: *en ISO*, disposición rectangular de valores³⁴.

MATRIZ DE IMAGEN: conjunto de valores ordenados asignados a una malla.

Generalmente, en el análisis geográfico, las imágenes digitales tienen una estructura en celdas cuadradas a la que es aplicable el ordenamiento matricial. Las filas y las columnas serán secuencias de valores resultando una discretización del espacio cuya posición interna viene dada por el indicador de esas filas y columnas (coordenadas matriciales o, en nuestro caso, coordenadas ráster). Consecuentemente, se indicará el tamaño de las celdas que afecta a la resolución o detalle registrado. Estas mallas en celdas cuadradas y regulares pueden ser de tamaño uniforme o variable. En este último caso las llamamos **Quad Tree** si las tratamos en dos dimensiones. En dimensiones más altas, **Riemann Hyperspatial Grid** que son de utilidad en hidrografía³⁵.



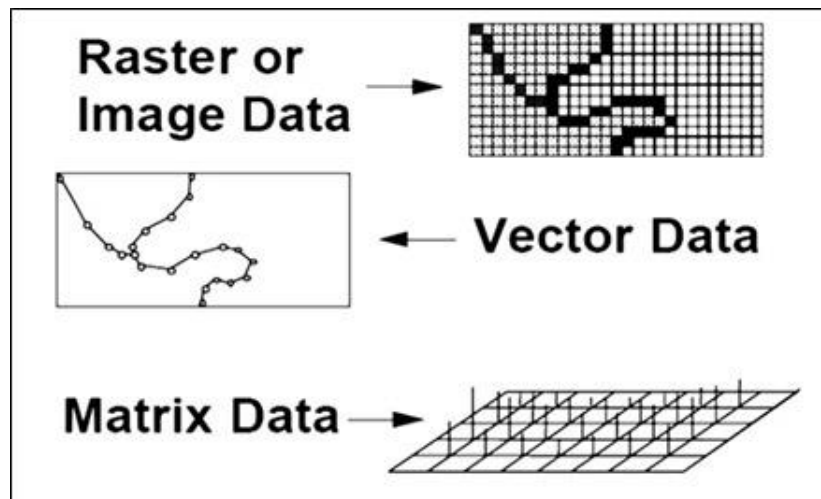
Regular and Variable Cell Size Grids (ISO 19129 figura 8)

³³ ISO 19129.

³⁴ ISO 19129.

³⁵ Sobre esto, ISO 19129 de dónde procede la imagen del texto. No hemos traducido las dos mallas variables.

Como los valores asignados a una trama, ordenados según ella, forman una matriz de datos pueden anotarse independientemente del registro de la imagen. Por ello, el sistema ráster es una de las utilidades del sistema matricial de registro digital de informaciones que no se limita a las cuestiones de representación visual de imágenes. También puede utilizarse el sistema matricial con los valores previos a su representación y en el registro de entidades. Con otros ficheros organizamos los datos en formatos de listas, tablas y vectores³⁶.



OpenGIS® Project Document Number 04107 Figure 71

Percepción de la malla y representación continua (rasters as surface maps).

El área terrestre cubierta por cada uno de los píxeles se conoce como resolución espacial o GSD (Ground Sampling Distance). Si, por ejemplo, un píxel cubre una superficie terrestre de un cuadrado de 30 metros de lado este valor es su GSD. Como el ojo humano no distingue representaciones gráficas menores a 0,25 mm, cuando en una imagen los píxeles son de un tamaño igual o inferior a estos 0,25 mm no reconoceremos la trama, sino que la imagen se percibirá de manera continua. Esto nos permite el cálculo de la escala máxima de representación de la malla según sea la resolución sobre el terreno de los píxeles que la componen. Con los datos del ejemplo anterior (30 metros = 30.000 milímetros; $30.000 \text{ mm} / 0,25 \text{ mm} = 120.000$) se define que la escala máxima en la que no percibiremos los píxeles será 1: 120.000³⁷. Este dato es equivalente al de la escala de captura en la información vectorial.

PIXELIZACIÓN: percepción visual de los píxeles cuando su tamaño es superior a 0,25 mm.

³⁶ "A variety of meanings have been assigned in the past to the three important terms (imagery, ráster, and matrix) resulting in potential confusion ... the term 'matrix data' is sometimes used colloquially to describe a set of measured attribute values organized in a grid. In some contexts, this term implies the exclusion of 'raster data' or 'imagery data'. Using the term 'matrix data' in this way is unsatisfactory because the concept conflicts with the concept of gridded data and is ambiguous. Unfortunately, the common or colloquial use of all of these terms overlap and they provide a poor lexicon... However, because these terms are often used in external standards or specifications in less precise or different ways it is important to be aware of the broader colloquial meanings sometimes given to these terms", ISO 19129.

³⁷ Estas son la resolución y la escala de proyectos como CORINE que usan imágenes satelitales.

Escala	GSD metros
1/ 1 000	0,25
1/ 2 000	0,50
1/ 5 000	1,25
1/ 10.000	2,50
1/ 25.000	6,25
1/ 50.000	12,5
1/ 100.000	25
1/ 120.000	30
1/ 200.000	50
1/ 400.000	100
1/ 800.000	200
1/ 1 000.000	250

Existen fenómenos geográficos cuya representación es más conveniente con la percepción del continuo territorial. El ámbito de análisis se definirá según la escala y el GSD nos dará la resolución de los datos³⁸.

En cartografía siempre se delimita el ámbito geográfico. También ha de suponerse o especificarse el periodo (o el momento) temporal de los datos. Es diferente a las disciplinas que tratan con un infinito teórico para las que existen normas generales que incluyen la determinación de universos (dominios) espaciales, temporales o espacio-temporales. Desafortunadamente, emplean un lenguaje de menor simplicidad necesario en ámbitos no cartográficos basados en un orden numérico o en un orden alfabético.

COBERTURA RÁSTER (raster coverage): objeto geográfico (Spatial object) que actúa como una función que devuelve valores de su rango para cualquier posición directa dentro de su dominio espacial, temporal o espacio-temporal. Los ejemplos incluyen las ortoimágenes ráster o las matrices digitales de elevaciones. En otras palabras, una cobertura es un objeto geográfico que tiene valores múltiples para cada tipo de atributo, pero en donde cada posición directa de la representación geométrica del objeto geográfico tiene un valor único para cada tipo de atributo³⁹.

COBERTURA DISCRETA (discrete coverage): cobertura que en los atributos de los objetos geográficos devuelve los mismos valores para cada posición directa dentro de cualquier objeto espacial, objeto temporal, u objeto espacio-temporal único en su dominio. El dominio de una cobertura discreta consta de un conjunto finito de objetos espaciales, temporales o espacio-temporales⁴⁰.

COBERTURA CONTINUA (continuous coverage): cobertura que devuelve valores diferentes para un mismo atributo⁴¹.

³⁸ Glosario INSPIRE según 19123 – modified.

³⁹ Entrada 99, 19123:2005. Además de las coberturas ráster de la definición, existen coberturas vectoriales que entenderemos más adelante. La definición de **coverage**: Spatial object that acts as a function to return values from its range for any direct position within its spatial, temporal or spatiotemporal domain. Ejemplo. Orthoimage, digital elevation model (as grid or TIN), point grids etc.

⁴⁰ Entrada 14, 19123:2005.

⁴¹ En 19123:2005: coverage that returns different values for the same feature attribute at different direct positions within a single spatial object, temporal object, or spatiotemporal object in its domain. Note. Although the spatiotemporal domain of a continuous coverage is ordinarily bounded in terms of its spatial extent, it can be subdivided into an infinite number of direct positions.

Posición. Ráster georreferenciado.

Con una estructura regular de los datos, para la georreferenciación ráster será suficiente con la asignación de los valores de coordenadas geográficas a un único punto (píxel) siempre y cuando la malla esté definida (organizada) en un sistema de proyección⁴². La localización del conjunto viene dada por la posición de una de sus celdas, el tamaño de las mismas y el número de filas y columnas que son otros parámetros de definición. La celda origen toma el valor 1,1. Aunque en la representación puede situarse en cualquier lugar, suele utilizarse una de las cuatro esquinas de la imagen.

ORIGEN DE LAS CELDAS: localización de la celda de referencia inicial en la función de distribución de la malla. Descrita mediante un texto de metadatos. Por ejemplo, “esquina NO” “posición 1,1 de la matriz de datos” “coordenada 0,0 de la imagen”.

NORMA DIGEST (Digital Geographic Information Exchange SStandard):

La convención adoptada para secuenciar (numerar) los píxeles dentro de una imagen es análoga a la del sistema de coordenadas cartesianas. Para una imagen orientada normalmente (es decir, con el norte arriba y el oeste a la izquierda) el origen se sitúa en la esquina suroeste, las columnas se numeran de derecha a izquierda (eje x) y las filas de abajo a arriba (eje y). Las direcciones positivas de los ejes x e y (filas y columnas) pueden ser invertidas con respecto a las de la imagen orientada normalmente pero no intercambiadas. Para las imágenes cuyo objetivo principal es ser representadas en una pantalla, el origen se sitúa habitualmente en su esquina noroeste, sus columnas son numeradas de izquierda a derecha (eje x) y sus filas de arriba a abajo (eje y)⁴³.

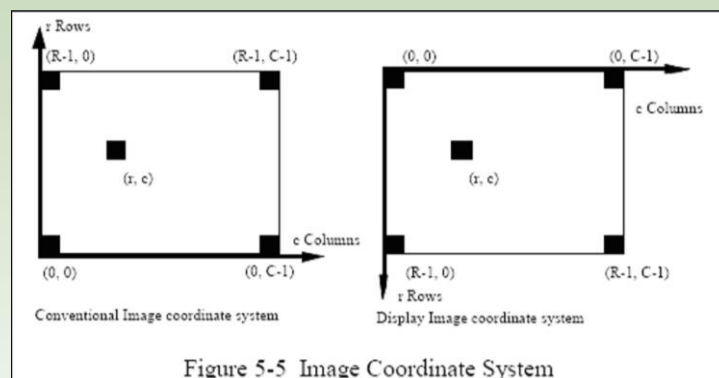


Figure 5-5 Image Coordinate System

OpenGIS® Project Document Number 04107 Figure 71

También se someten a una deconstrucción territorial los textos de literatura científica, aunque procedan de lenguajes formales. En su vertiente más científica, las propiedades y los fenómenos de la naturaleza terrestre suelen describirse mediante la eliminación de su componente territorial, con su deconstrucción o fragmentación en elementos o conceptos generales. Es un acercamiento a lo terrestre con un uso abusivo de categorías universales. Se reducen las manifestaciones geográficas de la particularidad-singularidad o de la diversidad y se eliminan relaciones geométricas presentes en la naturaleza.

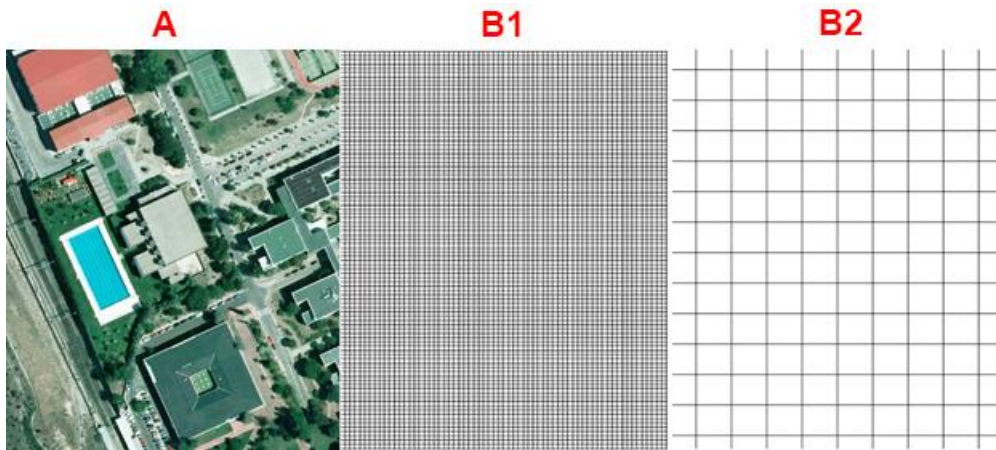
⁴² Los valores se corresponden con coordenadas proyectadas. También consideraremos:

- Cobertura de malla (GridCoverage): a regular, equispaced grid which is not spatially referenced (like a raster image which has no geo coordinates associated)
- Cobertura de malla rectificadas (RectifiedGridCoverage): a regular, equispaced grid which is spatially referenced (like a satellite image which does have geo coordinates associated)
- Cobertura de malla referenciada (ReferenceableGridCoverage): a grid which is not necessarily equispaced (like satellite image time series where images do not arrive at regular time intervals, or curvilinear grids following river estuaries).

⁴³ “The convention adopted for sequencing (numbering) pixels within an image is analogous to the Cartesian coordinate system. For a normally-oriented image (i.e. North at the top and west on the left) the origin is at the SW corner and the columns are numbered from left to right (x-axis), the rows from bottom to top (y-axis). The positive directions of the x and y axes (rows and columns) may be reversed in relation to a normally-oriented image but not exchanged (see 11.2.3 for details). For images intended to be displayed the origin is usually at the NW corner and the columns are numbered from left to right (x-axis), the rows from top to bottom (y-axis)” <https://www.dgiwg.org/digest/>

Asignación de códigos (attribute value of cells). Matriz de datos.

Para la codificación o digitalización de la imagen A definimos (en toda la extensión de su área) una trama o malla que puede tener mayor o menor densidad tal como se muestra en B1 y B2. Los cuadrados de esa malla serán las unidades de información y representación de las imágenes digitales. Cada uno recibe un código numérico y el conjunto de datos puede registrarse con el formato matricial que se representa en C.



C: matriz de datos numéricos

	1ª	2ª	3ª	4ª	14ª	15ª	16ª	17ª	18ª	19ª	20ª	21ª	22ª	23ª	48ª	49ª	50ª
1ª	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
2ª	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
3ª	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	130	111	110	92	145	145	145
4ª	137	137	137	137	137	137	137	137	127	89	94	96	101	139	138	136	
8ª	135	136	138	138	121	114	130	149	119	64	80	96	96	100	138	138	137
9ª	136	136	138	135	40	43	46	67	110	57	72	87	88	83	136	136	136
10ª	138	138	138	138	38	38	48	43	48	54	63	78	71	185	137	136	136
35ª	162	162	162	163	170	170	170	172	173	171	175	174	174	176	163	163	163

Las normas indican registros en formas nominal, ordinal, de intervalo o por cociente y en valores naturales, enteros, reales o de coma flotante⁴⁴. En los sistemas informáticos de registro la unidad elemental es el bit (binary digit) que puede codificarse con los valores 0 o 1. En ese almacenamiento y en el procesamiento o computación de la información se tratan agrupaciones de varios bits formando secuencias. Si utilizamos 1 bit obtendremos $2^1 = 2$ valores posibles de registro (imágenes de bits); si 2 bits, $2^2 = 4$ valores; los sistemas de 4 (2+2) bits, $2^4 = 16$; los de 8 (octetos) (4+4) bits, $2^8 = 256$; los de 16 bits, $2^{16} = 65.536$; los de 32 bits, $2^{32} = 4.294.967.296$ o los de 64 bits, $1,844674407 \times 10^{19}$.

PROFUNDIDAD (depth, dominio del atributo): conjunto de valores que pueden ser asignados a un píxel.

⁴⁴ ISO 19123 y 10129.2.

Los ficheros ráster de valor cartográfico pueden diferenciarse según los sensores utilizados que, después, son elaborados, corregidos y complementados para su producción final. No corresponde ahora el estudio de su proceso de gestión, trataremos de los productos finales ofrecidos por las agencias cartográficas oficiales. Es necesario el conocimiento de la procedencia del código utilizado que introduce distintas funciones de distribución.

Se obtienen informaciones geográficas con las tecnologías de los sensores para la observación de la tierra (sensores orbitales y sensores aerotransportados) o con las que se han desarrollado desde antiguo para el trabajo de campo. Los sistemas sensores miden las propiedades físicas, químicas y biológicas de la superficie terrestre y de la atmósfera. Destacan los sistemas para el registro de la altitud y los del espectro electromagnético. Desde el segundo tercio del siglo XX, las imágenes fotográficas han sido una fuente principal de información cartográfica, aunque su uso no ha eliminado por completo el trabajo de campo que sigue siendo necesario o, incluso, imprescindible como es el caso del establecimiento de redes geodésicas. Más recientes son otros sistemas sensores como los que utilizan radares para los cálculos de la altimetría o para la observación de fenómenos atmosféricos, los sensores orbitales del campo de gravedad y las tecnologías satelitales para la determinación de la localización. Estas últimas se conocen como GNSS (global navigation satellite systems) siendo las principales el norteamericano Global Positioning System (GPS) y el ruso ГЛОНАСС (GLONASS, Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema). El proyecto europeo es conocido como GALILEO y existen, entre otros, proyectos de China (BEIDOU), India o Japón.

Se registran las distintas áreas de la tierra con una resolución que es cada vez mayor. A diferencia de las fotografías tradicionales, cuando los valores de la energía se revelan analógicamente sobre una película o sobre un papel, obtenemos ahora un registro digital en unidades que asociamos con celdas. La energía emitida o reflejada por un área terrestre puede ser recogida en una gradación de longitudes de onda y transmitida de forma numérica por diferentes tipos de sensores, aerotransportados u orbitando la tierra. Los valores variarán, por ejemplo, según la morfología del área terrestre (su orientación y pendiente), su composición (tipo de terreno y de la ocupación del suelo), las características de la energía incidente o de la energía emitida por la propia tierra. También dependerán de la capacidad del sensor para captar la gradación y de la densidad instalada en el dispositivo utilizado para registrarla.

RESOLUCIÓN DEL SENSOR. RESOLUCIÓN DE LA MALLA EN LA ASIGNACIÓN DE CÓDIGOS

La resolución del sensor es distinta de la resolución de la imagen. La resolución del sensor es la diferencia más pequeña que puede ser detectada por ese sensor. La resolución de un sensor es la medida de su capacidad para detectar diferencias entre los objetos observados y puede ser expresada de muchas maneras dependiendo de la naturaleza del sensor.

En la captura de imágenes, la resolución del sensor se refiere a su resolución radiométrica, espectral, espacial y temporal.

La **resolución radiométrica** es la cantidad de energía requerida para incrementar el valor de un pixel en una unidad de cuantificación. La resolución radiométrica mide la sensibilidad del sensor para discriminar entre niveles de intensidad.

La **resolución espectral** mide la sensibilidad del sensor para discriminar entre distintas longitudes de onda. Es proporcional al número de bandas almacenadas en las imágenes capturadas por él e inversamente proporcional a sus anchuras de banda.

La **resolución espacial** (spatial resolution) de una imagen es la mínima separación entre dos objetos para que puedan ser distinguidos como dos objetos distintos en la imagen. La **resolución sobre el terreno** (pixel ground resolution) de una imagen define la superficie sobre el terreno cubierta por cada

pixel. Normalmente se expresa como la distancia entre el centro las áreas representadas por dos píxeles adyacentes, llamada en inglés *Ground sample distance (GSD)* o *ground sample interval (GSI)*. El **campo visual geométrico instantáneo (IGFOV)**, del inglés *Instantaneous Geometric Field of View*, está relacionado con la resolución espacial. EL IGFOV es el tamaño en el sensor de la imagen proyectada por su sistema óptico de lo que ha captado sobre el terreno. También se llama *pixel footprint* que podemos traducir como huella del pixel. ISO 19123 define el concepto relacionado *CV Footprint* que define como el tamaño de muestra de una malla en un sistema de coordenadas geográficas o ya proyectadas.

La **resolución temporal** es un concepto utilizado cuando se manejan imágenes sucesivas en el tiempo para detectar cambios o para rastrear objetos en movimiento. Se expresa como la frecuencia con la que se obtienen imágenes sucesivas o como el intervalo de tiempo entre imágenes sucesivas. 19101-2, página 17.

Representaciones ráster

Se utilizan distintos procedimientos en la distribución de valores gráficos. La tecnología actual emplea mayoritariamente 8 bits y, por lo tanto, las imágenes en el nivel más básico son conjuntos de datos con valores naturales entre 0 y 255. El color negro tendrá, por ejemplo, un código digital de valor 0 (no intensidad) y el blanco, 255 (total intensidad). Con estos datos se ha formado un fichero organizado también como una matriz homóloga con el mismo número de filas y columnas definiendo las dos dimensiones altura y anchura. Al número de bits asociado en cada pixel a los datos originales se le llama profundidad (depth) de la imagen. En niveles posteriores esa codificación en 256 valores distintos puede hacerse corresponder con datos del intervalo numérico entre 0,0 y 1,0 o con la intensidad en una escala gráfica de tonalidades (grises o de un color), por ejemplo. De todas formas, el registro informático siempre es, en último término (en el primer nivel), un registro codificado en dígitos binarios.

En esos niveles posteriores, esos registros digitales (binarios) se tratan como códigos de la multiplicidad de formas numéricas o físicas de concebir y registrar una distribución o una intensidad. Existe una infinidad de valores posibles para la codificación entre 0 y 1 pero en la captura de datos y en la representación o visualización dependemos de la capacidad de los dispositivos para referir la gradación y de la capacidad del ojo humano para percibirla. Siempre se registran y, a grandes escalas, se perciben valores discretos, en un número finito y con una precisión de codificación también finita. A la escala adecuada, las representaciones son continuas.

IMAGEN (imagen ráster)⁴⁵: conjunto bidimensional finito de valores espaciados según una malla cuando están codificados para su *representación* gráfica. El conjunto de elementos de una imagen se presenta sin solapes ni huecos.

IDENTIFICADOR DE IMAGEN / TÍTULO DE IMAGEN: texto identificador de una imagen que da nombre a su fichero de datos.

En las matrices con valores de una sola característica, la imagen más simple asocia el valor 0 al blanco y el 1 al negro y se llaman imágenes de bits o imágenes binarias. Pueden utilizarse cualesquiera otros dos colores.

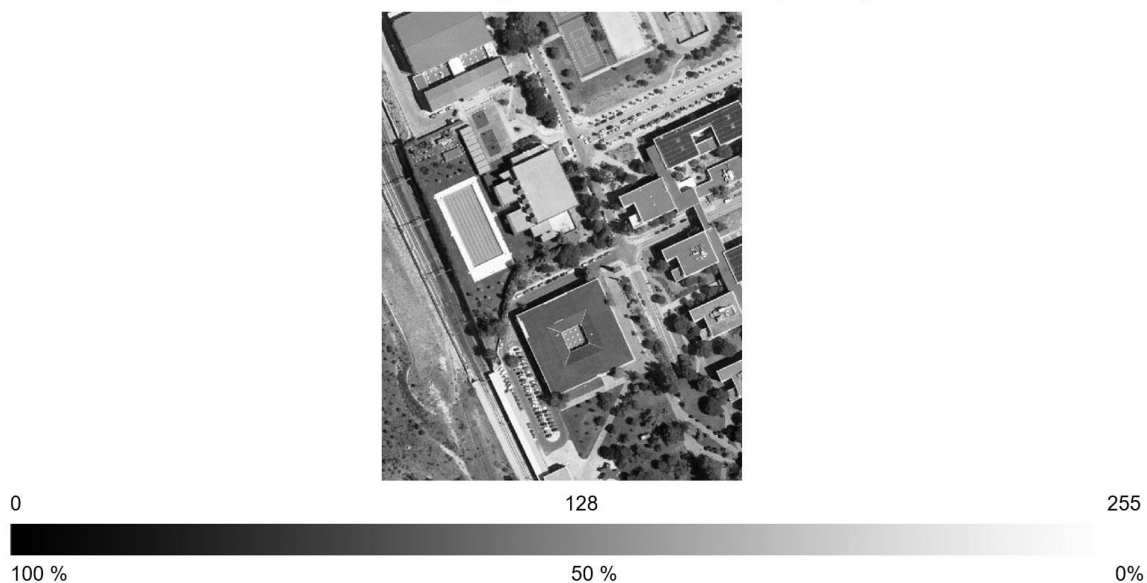
⁴⁵ En 19115 *image*: meaningful numerical representation of a physical parameter that is not the actual value of the physical parameter. Pudiera necesitarse esta definición, pero es de compleja redundancia. 551 image gridded coverage whose attribute values are a numerical representation of a physical parameter valid preferred 19115-2:2009 Note: The physical parameters are the result of measurement by a sensor or a prediction from a model

D: imagen binaria de la figura A utilizando la malla B2 y la matriz de datos C.



Para una característica con mayor número de variaciones asociamos intensidades de gris (o intensidades de cualquier color). Se llega a un número de variaciones percibidas por el ojo humano en continuidad. A los códigos numéricos de C asociamos una gradación de intensidades o tonalidades y, finalmente, obtenemos la figura E.

E: imagen de la figura A utilizando la malla B2 y la matriz de datos C, convertida en 256 tonos de gris. Estos valores de gris también se expresan en porcentaje.

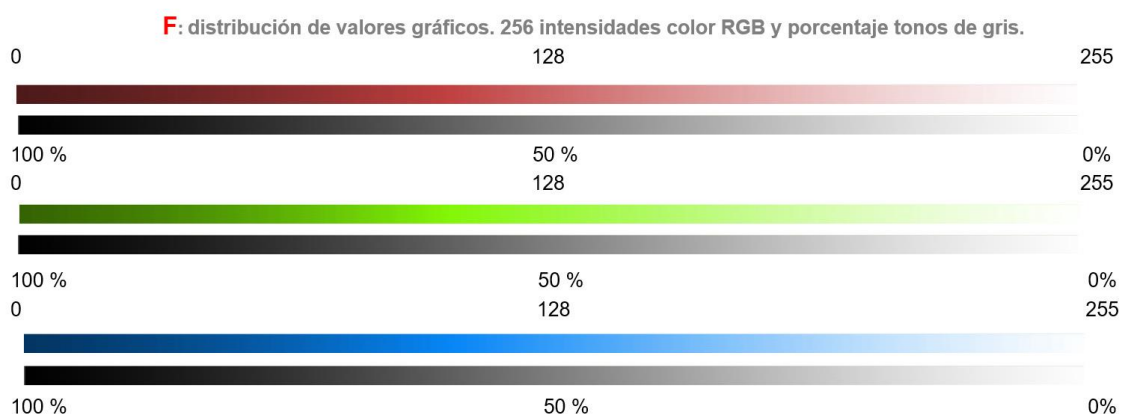


Para la representación de una imagen, la información asociada a una malla puede registrarse en un único fichero o en varios ficheros llamados bandas o canales, hablamos entonces de:

RÁSTER COMPUESTO: ráster en el que a cada celda de la malla asociamos más de un valor. El resultado es un pixel de imagen que puede entenderse como la superposición de los valores de las bandas. El término banda nace como referencia a los segmentos del espectro electromagnético que se registran en los sensores de los canales visibles y de los no visibles como el infrarrojo o el ultravioleta⁴⁶.

⁴⁶ En ISO, **banda:** rango de longitudes de onda de una radiación electromagnética que produce una sola respuesta en un dispositivo de detección, 19101-2:2008.

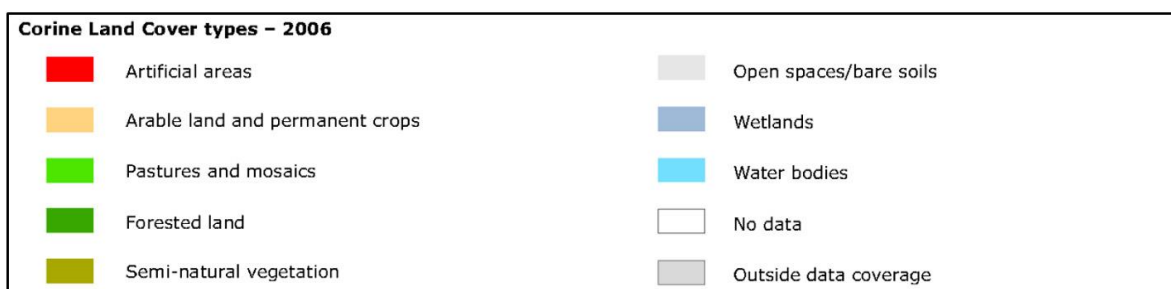
Si se registran tres matrices de datos (ráster compuesto de tres matrices con una misma georreferenciación),



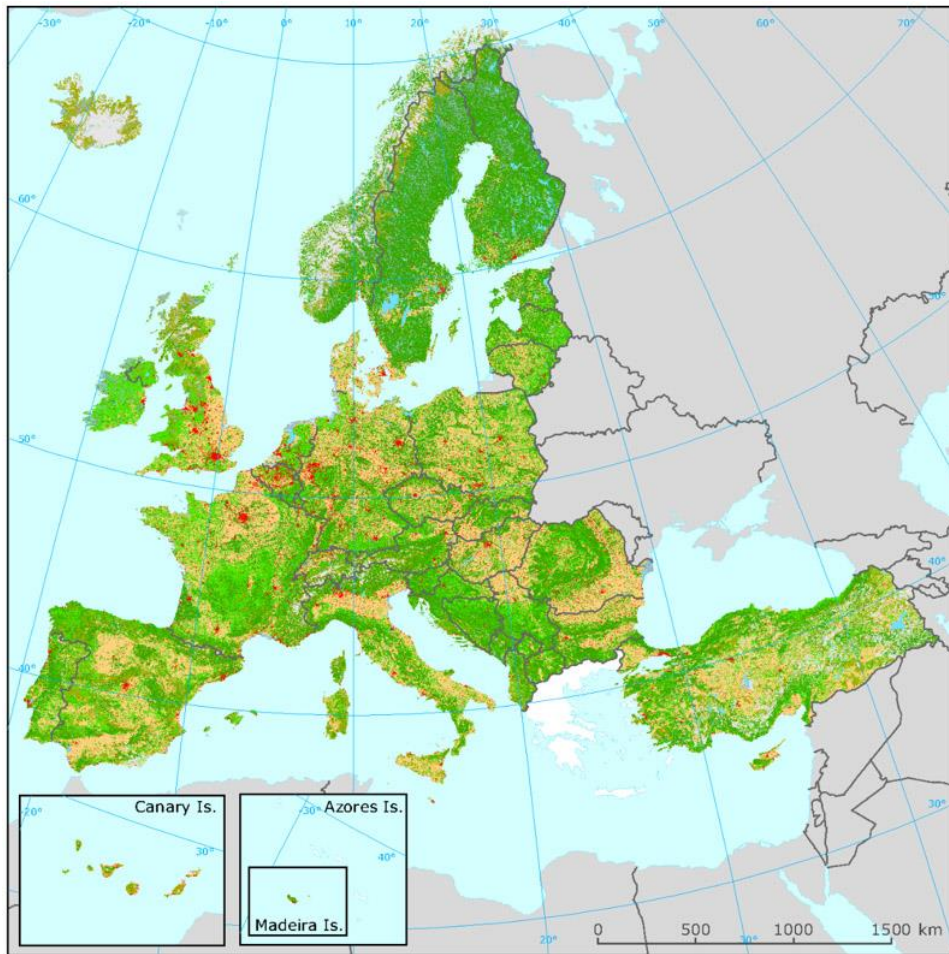
G: imagen con tres capas o canales RGB especificados en F.



Representación discontinua temática: En otros ficheros ráster también de una sola característica, para la representación de la malla C agrupamos sus valores en clases con valores discretos y les asociamos una serie de colores que indican distintos temas. Aunque puede ser confuso, también se llaman mapas ráster temáticos. Por ejemplo, en el proyecto CORINE encontramos los siguientes tipos de coberturas del suelo (Land Covers).



Con ellos, el mapa de Europa es:



Geometría con descripción de entidades⁴⁷

La definición y determinación de entidades geográficas que describan la configuración terrestre emplean elementos geométricos georreferenciados (puntos, líneas y superficies poligonales serán los utilizados⁴⁸).

Delimitamos los componentes y los fenómenos propios de las geografías física y humana necesarios en su interpretación. Se registran los valores de coordenadas únicamente en las selecciones de puntos que definen un **objeto**. Con su diferenciación, enumeración y clasificación los nombramos genéricamente como **entidades** (*features*, en inglés) **geográficas**. Posteriormente, hablamos de **objetos** o **entidades cartográficas** cuando en

⁴⁷ La norma principal es ISO 19107. Las descripciones o definiciones normalizadas de los datos son necesarias para su correcta utilización. Según dicen, "ISO 19107:2003 specifies conceptual schemas for describing the spatial characteristics of geographic features, and a set of spatial operations consistent with these schemas. It treats vector geometry and topology up to three dimensions. It defines standard spatial operations for use in access, query, management, processing, and data exchange of geographic information for spatial (geometric and topological) objects of up to three topological dimensions embedded in coordinate spaces of up to three axes". la suposición que esas operaciones sean las de un sistema de información.

⁴⁸ Son los llamados objetos geométricos. Además, en cartografía, **elemento de representación** (cartographic symbol): elemento de la representación cartográfica: puntos, líneas, superficies, letras y números, Diccionario M 42.1.

su descripción se utilizan, además, representaciones gráficas. La cartografía tradicional responde a esta geometría. En cartografía digital, registramos numéricamente la posición de los objetos geométricos mediante valores de coordenadas geográficas y les asociamos formas de representación gráfica digital (primitivas geométricas digitales).

En el conjunto de puntos de un territorio se definen subconjuntos de puntos cuya enumeración se registra digitalmente y configuran la representación territorial de una entidad. Esta forma de registro digital da lugar a los conocidos por algunos como **sistemas vectoriales** que son aquellos que permiten el establecimiento de relaciones entre los elementos o las entidades geográficas que hayamos definido para un ámbito terrestre. Las operaciones con esos elementos diferenciados se llevan a cabo, generalmente, mediante operadores lógicos, operadores sobre cadenas de caracteres, sobre colecciones o tablas de datos y mediante operadores geométricos y topológicos⁴⁹. Son las operaciones usuales en los sistemas de gestión de bases de datos informatizados (DBMS por las siglas en inglés) y en los sistemas gráficos (SG). Un ejemplo de relación es el conjunto de tramos de la red viaria que están comprendidos entre las curvas de nivel de 500 y 1.000 metros. Para el entendimiento de los Sistemas de Información Geográfica no es suficiente con su percepción aislada como DBMS o como SG. Es necesaria la integración de estas dos herramientas contando con datos ráster y vectoriales.

Para **ENTIDAD**⁵⁰ (entity) se han definido:

1. Delimitación (o representación) de una colección de datos,
2. Fenómeno que no subdividimos en nuevas entidades⁵¹ y
3. **En ISO**, clase de objetos con propiedades comunes⁵².
4. Fenómeno del mundo⁵³.

Ejemplos en cartografía básica son las curvas de nivel, la red viaria, el parcelario de cultivos, los vértices geodésicos o los topónimos.

ATRIBUTO: en ISO, nombre de una propiedad de una entidad. Nota. Describe una característica geométrica, topológica, temática o cualquier otra característica de una entidad⁵⁴.

En las normas digitales sobre sistemas de información no siempre está clara la doble definición de los términos que indican una posición mediante coordenadas o mediante una representación gráfica en esa misma posición. En geografía esas coordenadas han de ser siempre coordenadas geográficas (excepto en la determinación de los ejes) y no caben otros espacios o geometrías. Esas normas no específicamente cartográficas tratan teóricamente de espacios no geográficos e ISO suele suponer que una única definición es suficiente para ambas situaciones

⁴⁹ En ISO 19103 se tratan las operaciones booleanas, con números enteros y reales, con cadenas y colecciones. Es una clasificación usual en los ámbitos informáticos.

⁵⁰ Cuando recogemos varias denominaciones, señalamos la de la norma ISO, pero mostramos las restantes pues ayudan a la comprensión.

⁵¹ Ambas acepciones en norma DIGEST. A partir de ahora, cuando no se expresa una referencia se está utilizando DIGEST mediante su traducción y adaptación. Indicarlas en cada caso haría aún más tediosa la lectura. Se trata de "Spatial Data Transfer Standar. Part 1. Logical Specifications" (Norma USA). Acertadamente, esta norma añade al nombre de las clases calificaciones geométricas en evitación de confusiones con las clases topológicas. También son de utilidad sus gráficos explicativos que hemos adaptado.

⁵² En ISO 10303. No figura como término de entrada en TC 211 Terminología, pero se usa abundantemente en las definiciones.

⁵³ Traducimos "Real-world phenomenon" INSPIRE DS-D2.5, obviando una posible redundancia. En nuestra disciplina diríamos fenómeno geográfico. Los mundos inventados para los juegos, las películas o para la evasión no nos pertenecen.

⁵⁴ ISO/IEC 2382-17

de posición y representación. En DIGEST no hablan de representación, pero incluyen gráficos en las definiciones. Resultan de gran utilidad. En el Diccionario de la Asociación Cartográfica Internacional no se planteaban un asunto que es ineludible con la digitalización. No tendrá gran incidencia en los análisis geográficos si, más allá de las definiciones, tenemos en cuenta la doble situación y no consideramos un espacio retórico o que no pertenezca a una geometría terrestre. Las geometrías analógicas o digitales se utilizan en cartografía, pero son disciplinas independientes a esta y son más generales, pues tratan con espacios que no son geográficos.

En las denominaciones que utilizamos hemos subrayado cuando se indica expresamente una representación, pero no las tratamos totalmente de manera diferenciada. En cartografía geográfica todo objeto o entidad han de asociarse finalmente a una representación gráfica en coordenadas específicas, aunque se admitan diferentes simbolismos para una misma dimensión⁵⁵.

PRIMITIVA GEOMÉTRICA: *en ISO*, Objeto geométrico representando un único, conectado y homogéneo elemento espacial (*of space*). Nota. No se descompone en objetos con información sobre configuración geométrica. Se incluyen **puntos, curvas, superficies** y sólidos⁵⁶.

En cartografía geográfica son objeto geográfico y entidad cartográfica la clave de la geometría de entidades.

ENTIDAD, OBJETO O ELEMENTO GEOGRÁFICOS (geographic feature, **geographic entity**):

1. **En ISO**, delimitación (o representación) de un fenómeno asociado con una localización terrestre⁵⁷.
2. Identificación de un objeto o entidad relacionados con la superficie terrestre.
3. Representación abstracta de un fenómeno real que corresponde a una localización o zona geográfica específica⁵⁸.

⁵⁵ Aunque en la manipulación digital se necesitare conceptos iniciales más abstractos.

Objeto espacial: 1. Objeto para la representación espacial de una característica o de una entidad, ISO 19107. Sobre esto, INSPIRE dice **object** in this document used synonymous with **spatial object**. Para esta denominación da como acepción 2. representación abstracta de un fenómeno real que corresponde a una localización o zona geográfica específica. NOTE It should be noted that the term has a different meaning in the ISO 19100 series. It is also synonymous with (geographic) feature as used in the ISO 19100 series. Lo que es abstracta es la representación, pero el fenómeno es realmente geográfico. En Art. 3.2 INSPIRE, **datos espaciales:** cualquier dato que, de forma directa o indirecta, hagan referencia a una localización o zona geográfica específica.

Objeto geométrico: objeto espacial representando un conjunto geométrico. ISO 19107. Nota. Consiste en una primitiva geométrica, una colección de primitivas geométricas o un complejo geométrico considerándolos como una entidad única. Puede ser la representación espacial de un objeto, como una entidad (feature) o una parte significativa de una entidad. Es esa la definición, pero en otros momentos también se dice is a set of geometric points, represented by DirectPosition, página 24 y set of direct position in a particular coordinate reference system, página 25. Para LISIGE en estos temas lo espacial ha de entenderse como espacio geográfico. Por lo tanto, nunca puede entenderse como plano o infinito. La teoría subyacente en los sistemas de información no es obligatoriamente geográfica presentando complejas definiciones inútiles en geografía.

El Comité Permanente para la Infraestructura de Datos Geoespaciales de las Américas (CP-IDEA) traduce *feature* por rasgo. Para el Glosario Multilíngue de ISO 211 el vocablo número 168 (*feature*) se traduce por objeto geográfico en PA, CU, CO, CL, BO, MX, EC, SV, UY y AR con el significado de abstracción de un fenómeno del mundo real. En España, el 168 se traduce por fenómeno, también como abstracción de un fenómeno (sic) del mundo real. Otras veces, en España se traduce por objeto o por elemento. Las diferencias entre elemento, entidad, objeto o rasgo (feature) pudieran tratarse como nominales.

Se ha insistido en las siguientes definiciones: **atributo de objeto geográfico** (feature attribute): característica de un objeto geográfico, LISIGE 3.1.d. **Atributo espacial:** atributo del objeto geográfico que describe la representación espacial del objeto geográfico mediante coordenadas, funciones matemáticas o relaciones topológicas de frontera, ISO 19117.

⁵⁶ Entrada 215 y 19107:2013. En BTN25 del IGN se utiliza ISO19137 "Geographic Information – Core Profile of Spatial Schema", que consiste básicamente en un conjunto de primitivas geométricas. A esa parte la llaman Modelo Geométrico que colorean en naranja en los esquemas. De momento (2018) sólo son referencias genéricas.

⁵⁷ ISO19101-2 y 19125-2. INSPIRE dice seguir las normas ISO especificando **feature**: abstraction of real world phenomena [ISO 19101] Descripción: NOTE. The term "(geographic) feature" as used in the ISO 19100 series of International Standards, in other specifications like IHO S-57, and in this document is synonymously with spatial object as used in this document. Unfortunately "spatial object" is also used in the ISO 19100 series of International Standards, however with a different meaning: a spatial object in the ISO 19100 series is a spatial geometry or topology. INSPIRE Generic Conceptual Model (D2.5_v3.4), página 6. Pese a todo, no tendrá gran relevancia para nosotros.

⁵⁸ LISIGE 3.1.d.

Para su descripción informatizada y el consiguiente registro de dichos elementos, objetos o entidades incorporamos códigos⁵⁹ que:

1. identifican y clasifican entidades⁶⁰,
2. localizan entidades mediante coordenadas,
3. definen su extensión o dimensión,
4. enumeran todas y cada una de las entidades,
5. introducen su clasificación para las operaciones geométricas,
6. definen objetos agregados y objetos compuestos,
7. definen el tipo de relaciones topológicas asociadas,
8. definen su representación gráfica y
9. asocian características alfanuméricas⁶¹.

La organización informática de estos códigos contempla, además,

10. un entorno operativo,
11. un Sistema de Gestión de Bases de Datos (DBMS) y un
12. Sistema Gráfico (SG).

Con ello, resulta un formato lógico, que nos informa del significado de todos los códigos utilizados, y se obtiene una organización para el almacenamiento mediante carpetas y ficheros, por ejemplo. En los programas, comerciales o en los de código abierto, existen distintos formatos cuya estructura es necesario conocer de cara al intercambio de datos (SHP, DGN, VRF, DXF, entre otros). En estos momentos estudiaremos los siete primeros apartados que señalamos en negrita. Describen las características estrictamente geométricas de las entidades de cartografía geográfica.

1. Identificación y clasificación de entidades. Catálogo⁶².

Contenido de un mapa. Conjunto de los elementos de representación (features) de un mapa. 42.2 DM. A partir de las anteriores definiciones de entidad, especificamos,

TIPO DE ENTIDAD(feature type): **en ISO**, clase con características comunes⁶³.

INSTANCIA (ejemplo, caso): **en ISO**, entidad que hace efectiva una clase⁶⁴.

⁵⁹ Identifier: linguistically independent sequence of characters, capable of uniquely and permanently identifying that with which it is associated, within a specified context [adapted from ISO/IEC 11179-3]

⁶⁰ En ISO 19110 se las llama, respectivamente, *features instances* y *features types*.

⁶¹ "Besides a name and a description, a feature type is defined by its properties such as +feature attributes, +feature association roles characterizing the feature type, and +defined behaviour of the feature type.

Additional concepts are +feature associations between the feature type and itself or other feature types, +generalization and specialization relationships to other feature types, and +constraints on the feature type" ISO/DIS 19109-2013

⁶² Diferentes al catálogo son los metadatos y las infraestructuras de datos espaciales que se verán en otros capítulos.

⁶³ Entrada 1296, 19156:2011 que en su traducción emplea **tipo de objeto geográfico**: clase de objetos geográficos que tienen características comunes. "Geographic features occur at two levels: **instances and types**. At the instance level, a geographic feature is represented as a discrete phenomenon that is associated with its geographic and temporal coordinates and may be portrayed by a particular graphic symbol. These individual feature instances are grouped into **classes** with common characteristics: **feature types**. 19110:2013, página 7.

⁶⁴ Entrada 244, 19107:2003. En español, instancia es traducción perezosa de *instántia*. De uso generalizado en jergas informáticas deriva en *instantiation* y en *to instatiate*. Aberraciones como "instanciar" (ilustrar, ejemplificar) o "instanciación" (ejemplo, ejemplificación,

Además, puede definirse,

ENTIDAD CARTOGRÁFICA: delimitación de una entidad geográfica mediante objetos geométricos georreferenciados.

CATÁLOGO DE ENTIDADES (catálogo de objetos geográficos, catálogo de fenómenos, feature catalogue): **en ISO**, catálogo que contiene definiciones y descripciones de los tipos de entidad, de sus atributos y de las asociaciones que se dan en uno o más conjuntos de datos geográficos, junto con cualquier operación aplicable⁶⁵. Para una correcta definición tendrán que describirse los intervalos de los vértices que, por norma, han de conectarse linealmente⁶⁶.

Se ha de incluir una tabla, un catálogo de elementos o una tipología de entidades cartográficas a registrar. Es la primera fase de la digitalización que tiene como finalidad la definición expresa de los elementos que describen la realidad geográfica a digitalizar. Además, se clasifican todos los fenómenos geográficos utilizados en un sistema de información⁶⁷. En primer lugar, las normas internacionales recomiendan que cada tipo de entidad (feature type) incluya su código de identificación, nombre⁶⁸ y definición. Junto a las anteriores recomendaciones, se normaliza la inclusión de la descripción de las entidades, sus posibles denominaciones paralelas (alias), la pertenencia a una clasificación jerárquica en grupos y subgrupos y la posible existencia de enlaces en la red que ofrezcan información online⁶⁹.

ilustración) se encuentran en normas cartográficas. En cartografía geográfica pudiera ser redundante **instancia de objeto geográfico**: individuo de un tipo de objeto geográfico que tiene especificados valores de atributos de objeto geográfico, 1431,19101-1:2014 y 19157:2013. Para un uso informático, también se define **instancia**: entidad que tiene una entidad única, un conjunto de operaciones que pueden serle aplicadas y un estado que almacena los efectos de las operaciones, 727, 19103:2005. Nota. Véase objeto.

⁶⁵ ISO 19101:2002, con alguna simplificación de lenguaje. INSPIRE recoge esta definición. En BTA (1.1.10) se traduce **catálogo de fenómenos**: relación ordenada que contiene definiciones y descripciones de tipos de fenómeno, de sus atributos y de relaciones entre ellos, que se dan en uno o más conjuntos de datos geográficos, junto con cualesquiera operaciones que puedan tener.

⁶⁶ En el texto introductorio a ISO 19110: 2013 se dice, más sencillamente: "Feature catalogues defining the types of features, their operations, attributes, and associations". En el glosario de INSPIRE, Catalogue(s) containing definitions and descriptions of the spatial object types, their attributes and associated components occurring in one or more spatial data sets, together with any operations that may be applied [ISO 19110 – modified]. En **Consejo Superior Geográfico** (2008): Especificaciones de la Base Topográfica. Armonizada 1:5000 (BTA) v1.0 "En el anexo A se presenta la lista de fenómenos y atributos que los caracterizan, y en el diccionario de fenómenos se describe(n) de forma detallada fenómenos, atributos y sus valores, métodos de captura, criterios de selección y su representación geométrica. En el anexo B se incluye una relación entre los entes del mundo real y los fenómenos de la BTA que los modelan", página 19.

⁶⁷ ISO 19110 "provides a standard framework for organizing and reporting the classification of real world phenomena in a set of geographic data. Any set of geographic data is a greatly simplified and reduced abstraction of a complex and diverse world. A catalogue of feature types can never capture the richness of geographic reality. However, such a feature catalogue should present the particular abstraction represented in a given dataset clearly, precisely, and in a form readily understandable and accessible to users of the data".

⁶⁸ "All feature types and feature properties (i.e. feature attributes, feature associations, association roles, and feature operations) included in a feature catalogue shall be identified by a name. The name of a feature type is unique within that feature catalogue. The name of a feature property (whether the feature property is a global property bound to the feature type or is local to the feature type) is unique within its feature type. The name of a global feature property is unique within that feature catalogue." En el glosario panhispánico cada término (no exclusivamente las entidades o fenómenos) tiene su número de identificación (Id_Término), nombre en español (Término_español) e inglés (Término_inglés), una definición o descripción (Definición_español), norma ISO de procedencia, ejemplos y notas.

⁶⁹ "The DGIWG Feature Data Dictionary (DFDD) exists as an online information resource maintained by the DGIWG Project Team. The DFDD is realized as one of a set of registers within the DGIWG FAD Registry. The DGIWG FAD Registry is located at <https://www.dgiwg.org/FAD/>. This workbook includes four sheets that specify a subset of information from valid items in the DFDD register as of the date it was created; for complete information regarding a given item a hyperlink is provided to the complete specification of that specific item in the online resource. Additional information available online that is not included in this workbook includes an item source, zero or more item lineages, and zero or more alternative expressions in languages other than that of the DGIWG FAD Registry (which uses English in accordance with the Oxford English Dictionary). Other information available online includes items that are not currently valid but may have historically been related to a valid item. The structure and content of the FAD Registry Additional information regarding these standards and the structure/operation of the DGIWG FAD Registry are available at the resource site." https://www.dgiwg.org/digest/html/DIGEST_2-1_Part4.pdf para el diccionario de datos FACC de la norma DIGEST https://www.dgiwg.org/digest/.../DIGEST_2-1_Part4_AnnexA.pdf es una descripción de entidades y sus atributos, clasificadas por categorías que se codifican jerárquicamente y con traducción a seis idiomas, incluyendo el español.

En los mapas generales, una clasificación jerárquica que podemos utilizar como antigua norma en la Administración española es el catálogo MIGRA, una codificación procedente de la clásica normalización de nuestros mapas analógicos. Son códigos que, al menos, tendremos en cuenta. Adjuntamos también la codificación del Mapa Topográfico Nacional 1: 25 000.

CÓDIGOS MIGRA	CATÁLOGO IGN25 ⁷⁰
01.- Divisiones Administrativas	01.- Unidades Administrativas
02.- Relieve	02.- Relieve
03.- Hidrografía y costas	03.- Hidrografía
04.- Cultivos	04.- Cultivos
05.- Edificaciones y mobiliario E > 1:25.000	05.- Poblaciones y construcciones
06.- Vías de comunicación	06.- Transportes
07.- Grandes conducciones y telecomunicaciones. E > 1: 25.000	07.- Conducciones y Transmisiones
08.-	08.- Toponimia
09.-	09.- Unidad de producción
10.- Puntos de control. Red geodésica y topográfica	10.- Señales geodésicas
11.- Delimitaciones urbanísticas, estadísticas y catastrales	
12.- Información catastral rústica	
13.-	
14.- Información catastral urbana	
15.-	
16.- Infraestructura y mobiliario urbano	

2. Localización de entidades mediante coordenadas (spatial address).

GEORREFERENCIACIÓN: *en ISO*, atribución de coordenadas a los puntos de la superficie terrestre⁷¹.

DATOS GEOGRÁFICOS: *en ISO*, cualesquiera datos que, de forma directa o indirecta, hagan referencia a una localización o zona geográfica específica⁷².

VÉRTICE: *en ISO*, registro de una unidad de representación mediante coordenadas X, Y, Z. Según la norma, el sistema de coordenadas ha de estar especificado como metadatos, los valores han de ser números enteros y el registro del valor altitudinal es opcional⁷³.

⁷⁰ Los fenómenos geográficos de la Base Topográfica Numérica a 1: 25 000 (BTN25) del IGN se agrupan en los que llaman “10 grandes dominios. Los fenómenos y sus atributos se describen en el “Catálogo de Fenómenos de BTN25”. Las definiciones de los tipos de fenómenos y los criterios de captura en “Normas de Captura y Diccionario de Datos de BTN25”. http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/documentos/BTN25_documentacion.zip. En su elaboración práctica utilizan “el concepto de **“elemento”**, porción [continua] de fenómeno geográfico y con atributos iguales dentro de una hoja del MTN25”, con igual referencia modificando la sintaxis. El resultado es una geometría sin topología. Para el catálogo parten de ISO 19110 “Geographic Information – Methodology for feature cataloging” que en el diagrama colorean en azul.

⁷¹ En ISO 19907 se utilizan **posición directa**: posición descrita por un único conjunto de coordenadas dentro de un sistema de referencia de coordenadas y **conjunto geométrico**: conjunto de posiciones directas (en nota, puede ser infinito).

⁷² LISIGE 3.1.b. que llama **conjunto de datos geográficos** a una recopilación identificable de datos geográficos, LISIGE 3.1.c. Para ISO, **dato geográfico**: dato con referencia implícita o explícita a una localización terrestre, traducción de 19109; **sistema de referencia espacial**: sistema de identificación de la posición, 19112 e **información geográfica**: información acerca de fenómenos asociados implícita o explícitamente con una localización relativa a la tierra, ISO/TC 211 Glossary of Terms–Spanish Terminology.

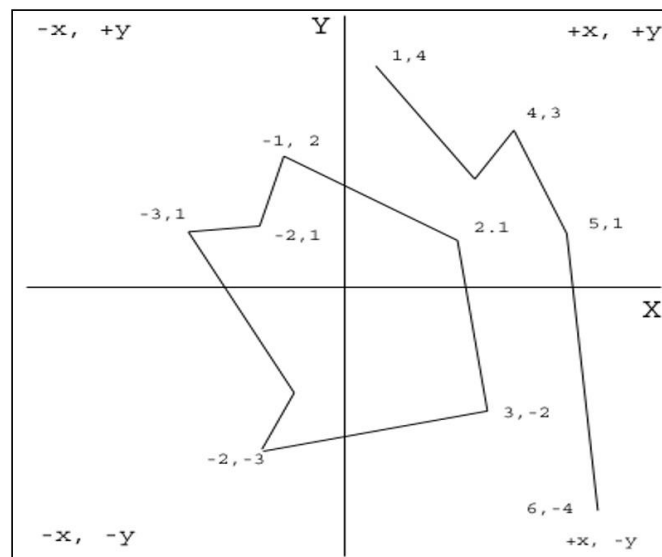
⁷³ ISO 19111 que especifica **metadatos**: información sobre datos geográficos con la finalidad de facilitar su uso. Generalmente, la información de metadatos se registra en ficheros independientes de los ficheros gráficos.

Tal como decimos, aunque inicialmente se utilizan puntos (georreferenciación) posteriormente se aplican a la descripción y la delimitación de objetos o entidades. Suelen utilizarse valores de coordenadas geográficas o de los distintos sistemas de proyección terrestre, pudiendo añadirse un tercer valor que exprese la altitud. Para su registro informático, los puntos se almacenan mediante los valores numéricos de pares o tripletas de coordenadas que definen su localización en un espacio bi o tridimensional.

Se recomienda que la lista de metadatos sobre vértices describa el sistema de referencia, el elipsoide, el datum, el sistema de coordenadas con sus parámetros, la resolución y el sistema de unidades de las coordenadas x, y, además de los valores h, especificando la escala de captura. También se recomienda la descripción de los vértices de las cuatro esquinas que delimitan el ámbito territorial digitalizado

3. Dimensión. Digitalización de la extensión geométrica.

Para el registro informático contamos con tres elementos que también podemos denominar puntos, líneas y superficies aunque es usual hablar, no sin cierta imprecisión, de elementos de dimensiones 0, 1 y 2. Existirán, según esto, tres tipos de ficheros informáticos para registrarlos⁷⁴. Se asignan con distinto grado de generalización según las escalas utilizadas en el registro de los datos o en el posterior análisis geográfico. En la representación, los homólogos geométricos de las entidades geográficas atienden a la escala utilizada (una entidad geográfica representada como una superficie a escala 1:5.000, puede ser representada como un punto si la escala adoptada es 1:200.000). También se utilizan puntos, líneas o áreas en su ideal definición geométrica gráfica sobre la que, posteriormente, operará el proceso de simbolización con nuevos signos. Hablamos entonces de cartografía en la que vuelven a adoptarse procedimientos geométricos en la generalización gráfica de los objetos geográficos⁷⁵.



⁷⁴ Serán las dimensiones cartográficas. Además, existirían una 3-D y, con la introducción de la variable tiempo, una 4-D.

⁷⁵ En este momento tratamos, únicamente, las cuestiones geométricas euclidianas de la cartografía. No tratamos las cuestiones topológicas. Consecuentemente, no podemos decir que este apartado trata de la cartografía vectorial. Como dice ISO 19107, “**vector data** consists of **geometric and topological** primitives used, separately or in combination, to construct objects that express the spatial characteristics of geographic features” (son más las negritas). La norma diferencia el geometric object (GM_Object) del topological object (TP_Object). De todas formas, existe un problema de denominación. En esa misma norma 19107 se dice: “**vector geometry**: representation of geometry through the use of constructive geometric primitives”. Como veremos, es un asunto cuya importancia se atenúa pues en cartografía la topología suele unirse a una geometría. En el lenguaje de la norma la topología “se realiza” en geometrías. Para BTA (1.1.20) **geometría vectorial**: representación de las propiedades espaciales de los fenómenos mediante el uso de primitivas geométricas [haciendo referencia exclusivamente a la segunda acepción de ISO19107].

• Clases geométricas de dimensión cero.

PUNTO:

1. Primitiva geométrica de dimensión 0 representando una posición⁷⁶.
2. **En ISO**, término genérico para todo elemento cerodimensional registrado mediante un y solo un vértice.
Nota. La frontera de un punto es el conjunto vacío⁷⁷.
3. Elemento de representación de dimensiones mínimas. Puede emplearse:
 - a) en objetos de dimensiones muy pequeñas a la escala del mapa;
 - b) como elemento de representación de un cierto tipo de unidades en un mapa temático⁷⁸.

• Clases geométricas de dimensión uno.

LÍNEA:

1. En sentido cartográfico es una forma plana en la que una de las dimensiones es despreciable respecto a la otra. Se emplea para contornos, representación de objetos lineales e isolíneas y para signos cartográficos de objetos o fenómenos que tienen una dirección dominante...⁷⁹.
2. Término genérico para todo elemento unidimensional registrado mediante una secuencia ordenada de vértices.
3. **Símbolo lineal**: símbolo en forma de línea que puede emplearse para la representación planimétrica de un fenómeno que se presente localizado en puntos cuyo conjunto, a la escala del mapa, tiene una sola dimensión⁸⁰.
4. **Elemento lineal**: objeto unidimensional que sirve como interpretación del eje de una referencia lineal. Se le llama también elemento **curvilíneo**⁸¹.

Todas las anteriores son definiciones muy claras, pero en el lenguaje normalizado ISO se emplea:

CURVA: *en ISO*, primitiva geométrica unidimensional representando la imagen continua de una línea. Nota. La frontera de una curva es el conjunto de puntos en cada extremo de la curva. Si la curva es un ciclo, los dos finales son idénticos y no tiene frontera (si es cerrada topológicamente). Punto inicial es el primer punto y punto final el último punto⁸².

⁷⁶ Se detallaba más en las primeras versiones de OpenGIS_Simple_Features_Specification. **Point**: A Point is a 0-dimensional geometry and represents a single location in coordinate space. A Point has a x-coordinate value and a y-coordinate value. The boundary of a Point is the empty set. Ahora, OpenGis adopta ISO.

⁷⁷ ISO 19107 y otras.

⁷⁸ Diccionario Multilíngue, op. cit. 421.1

⁷⁹ Según Diccionario Multilíngue, op. cit. 421.3.

⁸⁰ Adaptación de Diccionario M 421.6.

⁸¹ Utilización y traducción de INSPIRE. Parece que la norma europea se basa en la referencia 1073 de ISO 1948: 2012: **Linear element**. 1-dimensional object that serves as the axis along which linear referencing is performed. EXAMPLES Feature, such as "road"; curve geometry; directed edge topological primitive. Note: **Also known as curvilinear element**. En el Glosario TC 211 el número 270 define **line string**: curve composed of straight-line segments, 19136:2007. El número 1073, **linear element**: 1-dimensional object that serves as the axis along which linear referencing is performed, EXAMPLES Feature, such as "road"; curve geometry; directed edge topological primitive. Note 1 to entry: Also known as curvilinear element, 19148:2012. Anteriormente se había definido line feature: A geographic entity that defines a linear (onedimensional) structure; for example, a river, road, or a state boundary. En OpenGis se llama: Curve: A Curve is a one-dimensional geometric object usually stored as a sequence of points, with the subtype of Curve specifying the form of the interpolation between points. This specification defines only one subclass of Curve y LineString, which uses linear interpolation between points. (El subrayado es mío). A Curve is simple if it does not pass through the same point twice.

⁸² ISO 19107. En la nota se añade: connectivity of the curve is guaranteed by the "continuous image of a line" clause. A **topological** theorem states that a continuous image of a connected set is connected. Insistiendo en lo anterior, el término 1172 en 19148: 2012:

Ejemplos pueden ser un eje fluvial permanente o la línea de costa. En cartografía y en otras normas se continúa prefiriendo la denominación geométrica de línea o, incluso, de polilíneas. Además, en esa definición de curva se emplea “la imagen continua de una línea”.

• Clases geométricas de dimensión dos⁸³.

SUPERFICIE:

1. Término genérico de todo elemento bidimensional registrado mediante un conjunto de vértices. Este conjunto puede ser una línea cuyos primer y último vértices coinciden.
2. **En ISO**, primitiva geométrica representando localmente una imagen continua de una porción de un plano. Decimos que tiene dimensión 2. Nota. La frontera (boundary) de una superficie es el conjunto de curvas cerradas y orientadas que delimitan los límites de la superficie, No tiene frontera cuando es isomórfica con una esfera y entonces se llama ciclo⁸⁴.

FRONTERA (boundary): **en ISO**, conjunto que representa el límite de una entidad. Nota. De uso corriente en geometría donde ese conjunto es una colección de puntos o de objetos representados con esos puntos. En otros ámbitos, el término se usa metafóricamente para describir la transición entre una entidad y el resto del universo (domain) de discurso⁸⁵.

FRONTERA GEOMETRICA (geometric boundary): **en ISO**, conjunto de primitivas geométricas de una dimensión más pequeña que un objeto geométrico y que limita su extensión⁸⁶.

CONTORNO: línea que limita una determinada superficie de un mapa⁸⁷.

4. Códigos de enumeración de entidades.

Mediante códigos de enumeración o diferenciación se registran cada uno de los puntos, líneas o superficies que definan entidades cartográficas singulares (instances⁸⁸). Por ejemplo, si queremos registrar tres postes de tendido eléctrico (entidades puntuales) y el cableado que los une (entidades lineales), estableceremos:

Linear referencing. Specification of a location relative to a linear element as a measurement along (and optionally offset from) that element. Note: An alternative to specifying a location as a two- or three- dimensional spatial position.

⁸³ También se contemplan en 19107 de improbable uso cartográfico: **shell**: simple surface which is a cycle. Note. Shells are used to describe boundary components of solids in 3D coordinate systems. **Solid**: 3-dimensional geometric primitive, representing the continuous image of a region of Euclidean 3 space. Note. A solid is realizable locally as a 3 parameter set of direct positions. The boundary of a solid is the set of oriented, closed surfaces that comprise the limits of the solid.

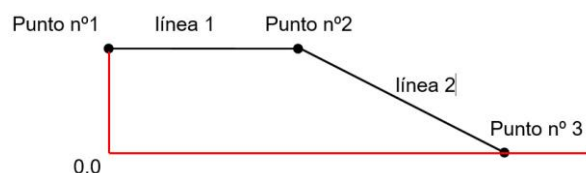
⁸⁴ Adaptación de ISO 19107 que en la nota amplía el término a su utilización topológica Anteriormente, **Area feature**: A geographic entity that encloses a region; for example, a lake, administrative area, or state. Area feature class. A collection of area features that maintains a homogeneous set of attributes. Implies the use of face primitives. Area feature table. The implementation of an area feature class in a VRF attribute table. ISO 8211 y DIGEST Part 1 GENERAL DESCRIPTION, página 1-4-1.

⁸⁵ Entrada 29 en 19107:2003. Hemos preferido esta traducción. En toda normalización son cuestionables las metáforas.

⁸⁶ ISO 19125. En 19107: frontera representada por un conjunto de primitivas geométricas de reducida (sic) dimensión que limita la extensión de un objeto geométrico (represented by a set of geometric primitives of smaller geometric dimension that limits the extent of a geometric object).

⁸⁷ Diccionario Multilíngue, op. cit.421.4.

⁸⁸ En ISO, **Instance**: A particular occurrence of an object.



En la organización del registro informático podemos adoptar una tabla como la siguiente:

Fichero de puntos		Fichero de líneas	
Nº	vértice	Nº	vértices
1	0,1	1	0,1 2,1
2	2,1	2	2,1 4,0
3	4,0
...
N	Xn,Yn		Xn1,Yn1 Xn,Yn

5. Clases de entidades⁸⁹.

La selección de algunas características distintivas, las agregaciones de objetos⁹⁰ y los objetos compuestos pueden servir en las operaciones o en los análisis geográficos. Además de su dimensión, para las operaciones geométricas diferenciaremos varios tipos de puntos cartográficos y distintas líneas o superficies.

PUNTO DE ENTIDAD: punto para la identificación de un elemento cartográfico (pozo, edificio, población, etc.).

PUNTO DE ETIQUETA: punto para la representación cartográfica y para la representación de textos o rótulos que identifican simbólicamente un objeto cartográfico.

PUNTO DE ÁREA O CENTROIDE: *en ISO*, punto interior a un área en el que se identifica la serie de atributos referidos al área⁹¹.

PUNTO DE CONTROL: *en ISO*, cobertura que devuelve valores diferentes para un mismo atributo⁹².

También se han definido:

PUNTO INICIAL: *en ISO*, primer punto de una curva⁹³.

PUNTO FINAL: *en ISO*, punto último de una curva⁹⁴.

SÍMBOLO PUNTUAL: punto con el que se representa un objeto cuyas dimensiones son demasiado pequeñas para ser representado a escala⁹⁵.

PUNTO DE REFERENCIA: punto que localiza en un mapa la posición de datos o de fenómenos⁹⁶.

⁸⁹ En ISO, **Instance:** De ISO 19103 traducimos **clase:** descripción de un conjunto de objetos que intercambian los mismos atributos, operaciones, métodos, relaciones y semántica. En glosario INSPIRE, **class:** description of a set of objects that share the same properties, constraints, and semantics [UML 2.1.2 - modified], **conjunto de objetos espaciales:** una recopilación identificable de datos espaciales.

⁹⁰ Los paquetes (packages) de la norma ISO 19111 apartado 6 son: 6.2 geometry root, 6.4 coordinate geometry, 6.3 geometric primitives, 6.5 geometric aggregates y 6.6 geometric complex.

⁹¹ No figura como entrada en el Glosario, aunque es de uso común y aparece en la entrada 688.

⁹² En la entrada 983 y 19115-2:2009 se define **punto de control en el terreno:** punto sobre la tierra que tiene una posición geográfica conocida con exactitud.

⁹³ Entrada 429 y 19107:2003.

⁹⁴ Entrada 155 y 19107:2003.

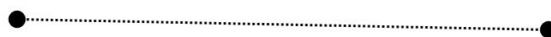
⁹⁵ Diccionario Multilingüe, op. cit. 421.2

⁹⁶ Diccionario Multilingüe, op. cit. 433.5

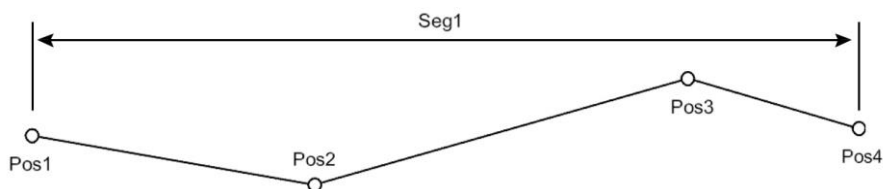
ARCO FUNCIÓN: *en ISO*, conjunto de puntos que forman una curva definida por una función matemática.

Encontramos funciones para las curvas cartográficas fruto de actuaciones humanas. En cambio, son pretenciosas las descripciones de curvas naturales mediante funciones matemáticas.

SEGMENTO: relación lineal directa entre dos puntos.



SEGMENTO DE CURVA: *en ISO*, objeto geométrico unidimensional para la representación de un componente continuo de una curva utilizando métodos homogéneos de interpolación y definición⁹⁷. "Note: The geometric set represented by a single curve segment is equivalent to a curve". En 19137, página 11 aparece la ilustración:

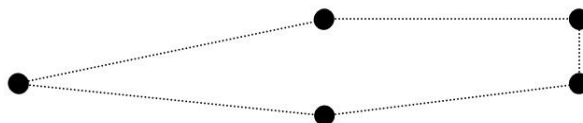


TRAMO: subconjunto de una cadena (se define más adelante) o de un anillo geométrico⁹⁸.



CADENA DE LÍNEAS (line string): *en ISO*, curva compuesta de segmentos rectilíneos⁹⁹.

ANILLO GEOMÉTRICO (recinto): secuencia cerrada de polilíneas o arcos que no se intersectan geoméricamente. Un anillo representa el perímetro, pero no representa el área interior de la secuencia cerrada.



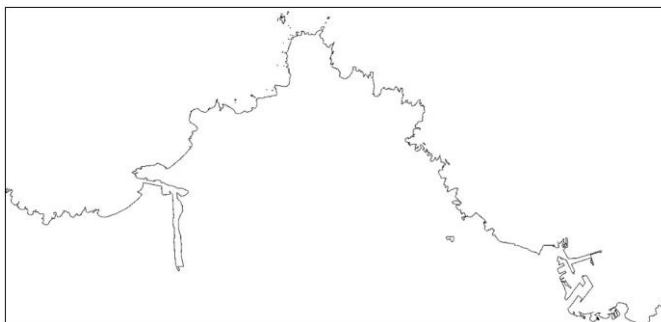
CONTORNO PLANIMÉTRICO: en una representación planimétrica, contorno que limita la superficie a que se refiere un fenómeno. 421.5 DM

⁹⁷ ISO 19107. Pese a la aparente complejidad, no es una definición sencilla, es formalmente válida. En la referencia 1173 de 19148: 2012: **Linear segment:** Part of a linear feature that is distinguished from the remainder of that feature by a subset of attributes, each having a single value for the entire part. Note 1: A linear segment is a one-dimensional object without explicit geometry. Note 2: The implicit geometry of the linear segment can be derived from the geometry of the parent feature.

⁹⁸ Según DIGEST. Para el Diccionario M 421.9, **tramo:** parte limitada de una línea.

⁹⁹ Entrada 270 y 19136:2007

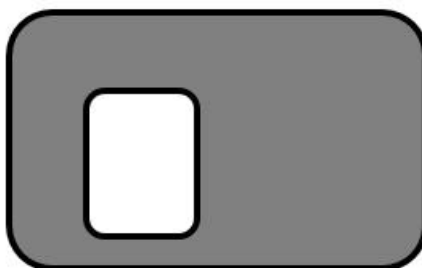
ANILLO: *en ISO*, curva simple que es un ciclo. Nota. Se utilizan en la descripción de componentes de frontera de superficies en sistemas de coordenadas en 2D y 3D¹⁰⁰.



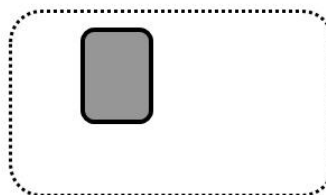
ÁREA INTERIOR: área que no incluye su perímetro¹⁰¹.



POLÍGONO GEOMÉTRICO: área compuesta de un área interior, un recinto que define su perímetro exterior y ningún o algún anillo geométrico en su interior¹⁰².



ENCLAVE O ISLA: área delimitada por un anillo geométrico que coincide con un anillo enclavado de otra área. Según corresponda, hablamos de área enclave y de polígono enclave.



¹⁰⁰ ISO 19107.

¹⁰¹ En ISO **ciclo**: objeto espacial sin frontera e **interior**: conjunto de todas las posiciones directas en un objeto geométrico que no pertenecen a su frontera o perímetro (ambas en 19107).

¹⁰² En ISO **polígono**: superficie definida por 1 frontera exterior y 0 o más fronteras interiores (19136).

6. Agregaciones. Objetos compuestos.

- Clases geométricas agregadas¹⁰³.

AGREGADO GEOMÉTRICO: *en ISO*, colección de objetos geométricos sin estructura interna¹⁰⁴. Se distinguen:

PUNTO MÚLTIPLE: *en ISO*, clase agregada exclusivamente con puntos¹⁰⁵.

PRIMITIVA MÚLTIPLE: *en ISO*, clase agregada exclusivamente con primitivas¹⁰⁶.

SUPERFICIE MÚLTIPLE: clase agregada exclusivamente con superficies.

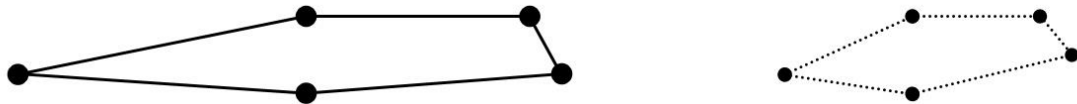
CADENA, POLILÍNEA O ARCO: secuencia ordenada de puntos relacionados o conectados mediante segmentos. Una cadena puede intersectarse a sí misma o intersectar a otras cadenas.



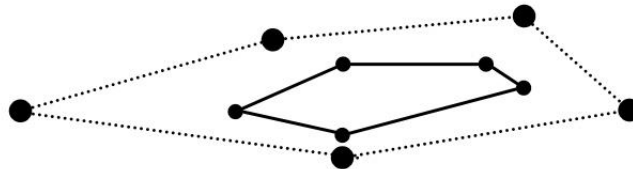
CADENA DE LÍNEAS (line string): *en ISO*, curva compuesta de segmentos rectilíneos¹⁰⁷.

CURVA MÚLTIPLE: *en ISO*, agregación de curvas¹⁰⁸.

PERÍMETRO PRINCIPAL: cuando una superficie se define con varios anillos geométricos a uno de ellos lo llamamos perímetro principal siendo, generalmente, el de mayor longitud.



RECINTO ENCLAVADO: anillo geométrico que describe el límite interior de un objeto bidimensional. Todo perímetro enclavado está anidado dentro de otro perímetro.



¹⁰³ Deben registrarse en el mismo sistema de referencia por coordenadas.

¹⁰⁴ ISO 19107.

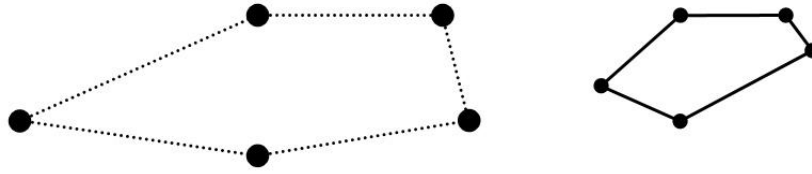
¹⁰⁵ ISO 19107. También se detalla "**MultiPoint**: A MultiPoint is a 0 dimensional geometric collection. The elements of a MultiPoint are restricted to Points. The points are not connected or ordered. A MultiPoint is simple if no two Points in the MultiPoint are equal (have identical coordinate values). The boundary of a MultiPoint is the empty set".

¹⁰⁶ ISO 19107. "Schemas for what is commonly called "spaghetti" data use only unstructured collections of geometric primitives".

¹⁰⁷ En ISO 19136, se insiste en la definición de un tipo de línea como "**curve** composed of straight-line segments".

¹⁰⁸ Simplificación de ISO 19107.

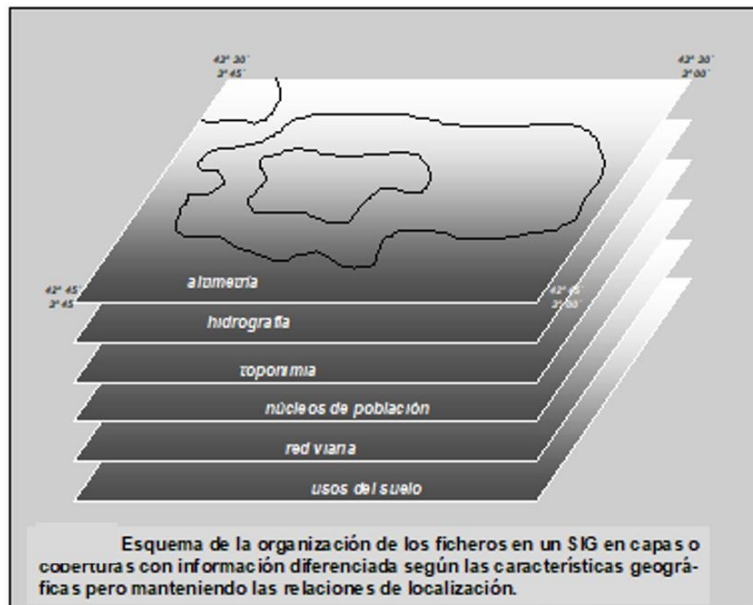
ANILLO ANEJO: anillo geométrico no principal que describe el límite exterior de un objeto bidimensional.



En ISO, también se contempla GM_MultiSolid de aplicación geográfica pero no cartográfica.

CAPA:

1. Conjunto de objetos geométricos pertenecientes a una clase.
2. **En ISO**, (layer): unidad básica de información geográfica que puede ser interpelada (requested, solicitada) como un mapa desde un servidor¹⁰⁹.



COBERTURA DE PUNTOS: *en ISO*, cobertura que tiene un dominio compuesto de puntos¹¹⁰.

COBERTURA DE POLÍGONOS: *en ISO*, cobertura que tiene un dominio compuesto de polígonos¹¹¹.

OBJETO COMPUESTO: *en ISO*, entidad espacial registrada como agregación de objetos puntuales, lineales y superficiales y con un código de enumeración. (Por su denominación pertenecería a las clases topológicas, pero no por su definición).

¹⁰⁹ Entrada 267 y 19128:2005. Existe otra traducción que no utilizamos.

¹¹⁰ Entrada 337 y 19123:2005.

¹¹¹ Entrada 340 y 19123:2005.

• Clases geométricas compuestas¹¹².

CURVA COMPUESTA: *en ISO*, secuencia de curvas en la que cada una (excepto la primera) comienza en el punto final de la curva previa. Nota: una curva compuesta, como conjunto de posiciones directas, tiene todas las propiedades de una curva.

SUPERFICIE COMPUESTA: *en ISO*, conjunto conectado de superficies que se adjuntan mediante fronteras (boundary curves).

PUNTO COMPUESTO: *en ISO*, complejo conteniendo uno y solo un punto. Se incluye para completar las definiciones.

COMPLEJO GEOMÉTRICO: *en ISO*, colección de primitivas geométricas simples y disjuntas¹¹³.

En ISO, también se contempla **sólido compuesto** de aplicación geográfica pero no cartográfica.

7. Códigos de relaciones topológicas.

TOPOLOGÍA CARTOGRÁFICA

Para el análisis geométrico de la posición, desarrollado a principios del XVIII por el cartógrafo Euler (que también era matemático), se utilizará desde el siglo XIX el término topología cuando se introduce por Johann Benedict Listing (1808-1882) colega del más conocido Möbius y sus teorías sobre la orientabilidad. Además, los matemáticos emplearon la expresión *analysis situs*.

La RAE (Real Academia Española de la Lengua) la define: rama de las matemáticas que trata especialmente de la continuidad y de otros conceptos más generales originados de ella, como las propiedades de las figuras con independencia de su tamaño o forma.

Las relaciones espaciales que no persiguen una medición basada en coordenadas las nombramos como secuencias, conexiones, yuxtaposiciones, rupturas y con otros términos que expresan una ordenación diferente a la señalada por vértices en sistemas de coordenadas (cartesianas, geográficas o proyectadas). Las operaciones topológicas corrientemente usadas en nuestro ámbito son las de inclusión, conectividad y adyacencia con sus derivadas de proximidad, contigüidad, vecindad, intersección, unión, coincidencia, difusión, contiene a (en el interior, dentro de), desde, al final de, a la izquierda/ derecha, al norte/ sur, al lado de, entre otras. En el lenguaje hablado se utilizan preposiciones y adverbios (también locuciones o categorías adverbiales y prepositivas) de lugar y de orden espacial¹¹⁴. Son usuales los análisis de enclaves, de redes o jerarquías y los esquemas de modelización topológica.



¹¹² ISO 19107 y adaptación en la definición de punto compuesto. Según la norma "which have a more elaborate internal structure than simple aggregates". Deben registrarse en el mismo sistema de referencia por coordenadas.

¹¹³ En 212, ISO 19107:2003 **complejo geométrico**: conjunto de primitivas geométricas disjuntas donde la frontera de cada primitiva geométrica puede representarse como la unión de otras primitivas geométricas de dimensión inferior dentro del mismo conjunto. NOTA. Las primitivas geométricas del conjunto son disjuntas en el sentido de que ninguna posición directa es interior a más de una primitiva geométrica. El conjunto es cerrado bajo operaciones de frontera, lo que significa que para cada elemento del complejo geométrico hay una colección (también un complejo geométrico) de primitivas geométricas que representan el límite de dicho elemento. Recordar que el límite de un punto (la única primitiva de dimensión 0 de los tipos de objetos geométricos) está vacío. Por lo tanto, si la primitiva geométrica de dimensión mayor es un sólido (3D), la composición del operador frontera en esta definición, finaliza a lo sumo en tres pasos. También es el caso de aquellos objetos en los que el límite es un ciclo.

¹¹⁴ Son adverbios de espacio los siguientes: •ahí, allí • aquí, acá • delante, detrás • arriba, abajo • cerca, lejos • encima, debajo, alrededor, norte, sur, este, oeste. El conocido como DE-9IM (Dimensionally Extended nine-Intersection Model) "is a topological model and a standard used to describe the spatial relations of two regions". Utiliza "Equals, Disjoint, Intersects, Touches, Crosses, Within, Contains and Overlaps".

En geografía, las operaciones y relaciones topológicas son siempre entre clases geométricas (entidades cartográficas). En cartografía representamos las relaciones topológicas. En la cartografía analógica tradicional se percibían algunas relaciones con complejas descripciones y comprobaciones. En lo que supone un gran cambio, la digitalización permite un análisis formal de la topología territorial.

REALIZACIÓN GEOMÉTRICA (geometric realization): *en ISO*, complejo geométrico cuyas primitivas geométricas están en correspondencia una a una con las primitivas topológicas de un complejo topológico, de tal manera que las relaciones de frontera en los dos complejos concuerdan¹¹⁵.

TOPOLOGÍA COMPUTACIONAL: *en ISO*, álgebra, estructuras y conceptos topológicos que apoyan, amplían o definen operaciones, normalmente ejecutadas sobre objetos geométricos¹¹⁶.

OBJETO TOPOLÓGICO: *en ISO*, objeto espacial que representa características espaciales que son invariantes ante transformaciones continuas. Nota. Un objeto topológico es una primitiva topológica, una colección de primitivas topológicas o un complejo topológico¹¹⁷.

PRIMITIVA TOPOLÓGICA: *en ISO*, objeto topológico que representa un elemento único indivisible¹¹⁸.

OBJETO TOPOLÓGICO ORIENTADO (directed topological object): *en ISO*, objeto topológico ... que representa una asociación entre un objeto topológico y una de sus orientaciones¹¹⁹.

Las entidades topológicas también suelen clasificarse como cerodimensionales (nodos o puntos), unidimensionales (enlaces, arcos) o bidimensionales (recintos, caras).

La clasificación topológica según la dimensión contiene las siguientes entidades:

• Clases topológicas de dimensión 0.

NODO:

1. Entidad de dimensión cero para la definición de una relación topológica. Es el caso, por ejemplo, de la intersección entre dos o más elementos lineales y puntuales o el caso del punto inicial o el del punto final de un enlace o una cadena.
2. *En ISO*, primitiva topológica de dimensión 0. Nota. El límite de un nodo es el conjunto vacío¹²⁰.



¹¹⁵ Entrada 216 según 19107:2003. En nota: en dicha realización, las primitivas topológicas ... representan el interior de las primitivas geométricas correspondientes. Los compuestos son cerrados

¹¹⁶ Entrada 62, 19107:2003

¹¹⁷ Entrada 486, según 19107:2003.

¹¹⁸ 19107:2003. Tiene el número 467 del Glosario en donde se añade una nota: A topological primitive corresponds to the interior of a geometric primitive of the same dimension in a geometric realization.

¹¹⁹ Entrada 140, 19107:2003. Eliminamos una redundancia.

¹²⁰ Entrada 309, 19107:2003.

NODO CONECTADO: *en ISO*, nodo en el que empiezan o acaban uno o más arcos¹²¹.

NODO ORIENTADO (directed node): *en ISO*, objeto topológico orientado que representa una asociación entre un nodo y una de sus orientaciones. Nota. Los nodos orientados se usan en la relación de cofrontera para mantener la asociación espacial entre arco y nodo. La orientación de un nodo con respecto a un arco es "+" para el nodo final y "-" para el nodo inicial. Esto es coherente con la noción de vector "resultado = final - inicial"¹²².

NODO FINAL: *en ISO*, nodo en la frontera de un arco que se corresponde con el punto final de tal arco como curva en cualquier realización geométrica válida de un complejo topológico en la que el arco se haya usado¹²³.

NODO INICIAL: *en ISO*, nodo en la frontera de un arco que se corresponde con el primer punto de ese arco como curva en una realización geométrica válida del complejo topológico en el que se utiliza el arco¹²⁴.

NODO AISLADO: *en ISO*, nodo que no está relacionado con ningún arco¹²⁵.

CRUCE: *en ISO*, nodo topológico simple en una red con su colección asociada de giros y enlaces entrantes y salientes. Nota. Cruce es un sobrenombre de nodo¹²⁶.

• Clases topológicas de dimensión 1.

ARCO (edge): *en ISO*, primitiva topológica unidimensional. Nota. La representación geométrica de un arco es una curva. El límite de un arco es el conjunto de uno o dos nodos asociados al arco dentro de un complejo topológico¹²⁷.



GRAFO: *en ISO*, conjunto de nodos, algunos de los cuales están unidos por arcos. Nota. En los sistemas de información geográfica, un grafo puede tener más de un arco que una dos nodos y puede tener un arco que tenga el mismo nodo a ambos extremos¹²⁸.

ARCO ORIENTADO (directed edge): *en ISO*, objeto topológico orientado que representa una asociación entre un arco y una de sus orientaciones. Nota. Un arco orientado que está de acuerdo con la orientación del arco, tiene una orientación +, en caso contrario, tiene una orientación -. Los arcos orientados se utilizan en topología para distinguir el lado derecho (-) del lado izquierdo (+) del mismo arco y el nodo inicial (-) y el nodo final (+) del mismo arco y en la geometría computacional para representar estos conceptos¹²⁹.

¹²¹ Entrada 079, 19107:2003.

¹²² Entrada 138, 19107:2003.

¹²³ Entrada 154, 19107:2003.

¹²⁴ Entrada 428, 19107:2003.

¹²⁵ Entrada 258, 19107:2003.

¹²⁶ Entrada 265, 19133:2005. En análisis de redes se utiliza **punto de camino** (waypoint): localización en la red que desempeña un papel en la selección de rutas candidatas que potencialmente cumplen los requisitos de enrutado, entrada 498 de ISO 19133:2005.

¹²⁷ Entrada 146, 19107:2003.

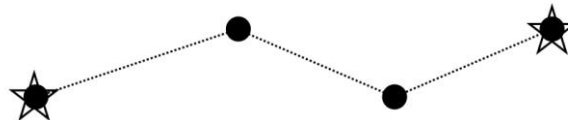
¹²⁸ Entrada 756, 19107:2003.

¹²⁹ Entrada 136, 19107:2003.

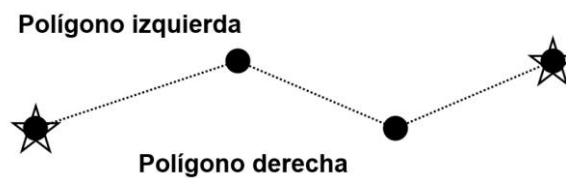
ENLACE: *en ISO*, conexión topológica dirigida entre dos nodos (cruces) que consta de un arco y una dirección.
 Nota. Enlace es un sobrenombre de arco orientado¹³⁰.



CADENA, POLILÍNEA O ARCO TOPOLÓGICO: entidad de dimensión uno que establece una secuencia ininterrumpida de objetos geométricos de dimensión uno que no se intersectan y que están ordenados. Las cadenas están limitadas por nodos que no son necesariamente distintos.



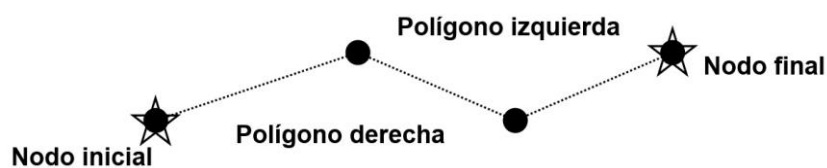
CADENA DE ÁREA: cadena que explícitamente indica los polígonos a su izquierda y derecha.



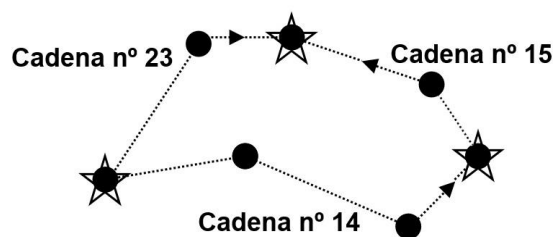
CADENA DE RED: cadena que explícitamente indica los nodos inicial y final.



CADENA COMPLETA: cadena que explícitamente indica los polígonos a su izquierda y derecha y los nodos inicial y final.



ANILLO TOPOLÓGICO: anillo creado a partir de cadenas de área o a partir de cadenas completas.



¹³⁰ Entrada 274,19133:2005. En DIGEST se definía enlace: entidad de dimensión uno que establece la conexión topológica entre dos nodos. El enlace estará dirigido si los nodos están ordenados.

• Clases topológicas de dimensión 2¹³¹.

CARA (face): *en ISO*, primitiva topológica bidimensional. Nota. La representación geométrica de una cara es una superficie. El límite de una cara es el conjunto de arcos orientados del mismo complejo topológico que están asociados con la cara a través de las relaciones de frontera. Éstos pueden organizarse en anillos¹³².

POLÍGONO TOPOLÓGICO: entidad topológica de dos dimensiones.

• Clases topológicas compuestas.

COMPLEJO TOPOLÓGICO: *en ISO*, colección de primitivas topológicas que es cerrada en operaciones de frontera. Nota. Cerrado en operaciones de frontera, significa que, si una primitiva topológica pertenece a un complejo topológico, los objetos de su límite también pertenecen a dicho complejo topológico¹³³.

Registro de códigos de topología. Formatos y estructuras topológicas.

Las posibilidades de utilización de la información, el tipo de preguntas geográficas que podamos realizar con los datos, dependerán del sistema de codificación y de las formas de registro de los datos. Las operaciones y relaciones han de verse dentro de los sistemas de información. No son un asunto geométrico ni pueden solucionarse por entero haciendo uso exclusivo del sistema gráfico. Existen dos sistemas principales:

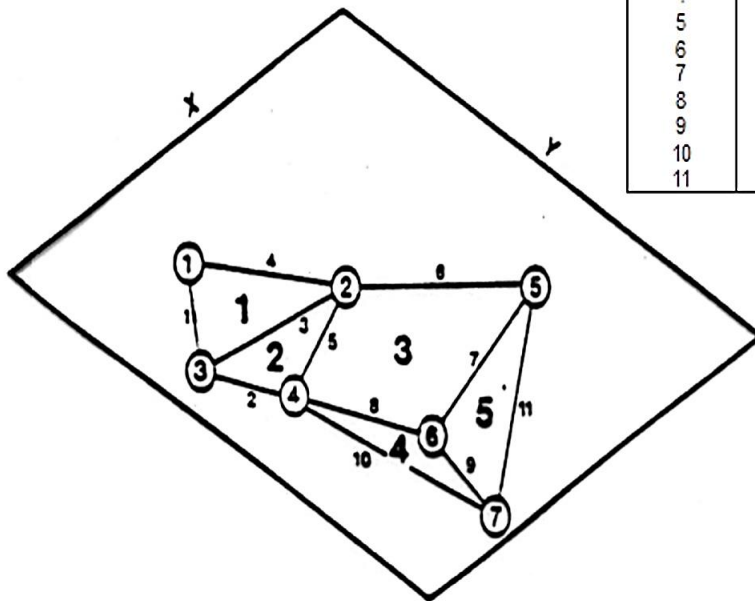
SISTEMAS DE SOLUCIÓN GENERAL: estructuras organizadas para dar respuesta a todas las posibles llamadas al sistema. El requerimiento principal es la definición previa con valores numéricos de todas las posibles relaciones topológicas entre las entidades geográficas u objetos.

SISTEMAS DE PROPÓSITO GENERAL: estructuras con registro de los datos topológicos de tal manera que puedan reorganizarse para cumplir las posibles llamadas al sistema. Cuando se trata de la implantación de un sistema para llevar a cabo complejas relaciones geográficas, esta forma de organización conlleva unos mayores tiempos de respuesta. En cambio, son más fáciles la introducción de nueva información y la actualización o la modificación de los datos. Cuando no podemos prefijar el tipo de relaciones concretas es necesario introducir esta forma de organización.

¹³¹ Entrada 274,19133:2005. También se contemplan entidades no cartográficas de tres dimensiones: sólido topológico y primitiva topológica tridimensional, sólido universal y sólido orientado.

¹³² Entrada 165, 19107:2003.

¹³³ Entrada 462,1907: 2003.



Enlace #	Pol. derecho	Pol. izquierdo	Nodo 1	Nodo 2
1	1	0	3	1
2	2	0	4	3
3	2	1	3	2
4	1	0	1	2
5	3	2	4	2
6	3	0	2	5
7	5	3	5	6
8	4	3	6	4
9	5	4	7	6
10	4	0	7	4
11	0	5	5	7

Tabla de topología

Nodo #	Coordenada x	Coordenada y
1	23	8
2	17	17
3	19	15
4	26	21
5	8	26
6	22	30
7	24	38

Tabla de vértices X, Y

Además, encontramos definidas las siguientes estructuras:

RED (network): en ISO, estructura abstracta consistente en un conjunto de objetos adimensionales, llamados cruces, y en un conjunto de objetos unidimensionales llamados enlaces que conectan los cruces, y cada enlace lleva asociado un cruce de inicio (origen, fuente) y un cruce fin (destino, sumidero). Nota. La red es esencialmente el universo (*domain*) del discurso para el problema de la navegación. Las redes son una variedad de complejos topológicos unidimensionales. De esta forma, cruce y nodo topológico son sinónimos, como lo son enlace y arco orientado¹³⁴.

CARA ORIENTADA (directed face): en ISO, objeto topológico orientado que representa una asociación entre una cara y una de sus orientaciones¹³⁵.

FRONTERA TOPOLÓGICA: en ISO, frontera representada por un conjunto de primitivas topológicas orientadas, de dimensión topológica menor, que limitan la extensión de un objeto topológico. Nota. La frontera de un complejo topológico se corresponde con la realización geométrica del complejo topológico¹³⁶.

¹³⁴ Entrada 308, 19133:2005.

¹³⁵ Entrada 137, 19107:2003. Se añade una extensa nota: la orientación de los arcos orientados (the orientation of the directed edges) que componen el límite exterior de una cara orientada aparecerán positivos a partir de la dirección de su vector; la orientación de una cara orientada (the orientation of a directed face) que limita un sólido topológico apuntará hacia fuera del sólido topológico. Los sólidos adyacentes usarían diferentes orientaciones para los límites que comparten, lo que es coherente con el mismo tipo de asociación entre las caras adyacentes y sus arcos compartidos. Las caras orientadas se usan en la relación de cofrontera para mantener la asociación espacial entre la cara y el arco. Las normas de captura actuales en la BTN25 dicen: "Todas las entidades superficiales que se capturen deberán ir orientadas en sentido horario (sentido de las agujas del reloj) (página 7 de la Especificaciones de producto).

¹³⁶ Entrada 461, 1907:2003.

ESTRUCTURA EN ESPAGUETI: estructura de datos geográficos o cartográficos meramente geométrica sin topología¹³⁷.

TOPOLOGÍA COMPLETA: estructura de datos con topología orientada al análisis de superficies, basada en las primitivas geométricas nodo, borde y cara, en la que el plano se alfombra (sic) con caras, sin huecos ni solapes¹³⁸.

CADENA-NODO: estructura de datos con topología, orientada a la gestión de redes y basada en las primitivas topológicas nodo, arco y sus relaciones¹³⁹.

TOPOLOGÍA PARCIAL: estructura de datos con topología basada en las primitivas geométricas: nodo, borde y cara, que no cumple las reglas de la topología completa¹⁴⁰.

Cartografía analítica.

CARTOMETRÍA

Definida por la Asociación Internacional de Cartografía como la medición y el cálculo de valores numéricos sobre los mapas. En la actualidad, incluimos mediciones y cálculos sobre coordenadas geográficas no proyectadas¹⁴¹.

Con las tipologías geométricas antes nombradas, se calculan distancias, áreas y perímetros, ángulos, azimutes y mediciones derivadas, como pendientes, volúmenes o trazado de perfiles. Las distancias pueden ser calculadas sobre un plano, sobre la superficie curvada de la tierra o sobre las configuraciones terrestres. En este último caso están las debidas al relieve o a los tramados ráster también aplicables a urbanizaciones regulares (distancia de *Minkowski*).

distancia euclídea

distancia geográfica o geodésica

distancia sobre la superficie topográfica

distancia en cuadrícula (Minkowski) = $|x_2x_1| + |y_2y_1|$

.....

distancia itineraria

distancia horaria

Además, se tratan en las cuestiones cartométricas la escala, la resolución para la visualización o representación, la precisión y los errores de la georreferenciación, la generalización del trazado geométrico, las agregaciones, uniones y conexiones de objetos, los trazados de mallas, los de ámbitos territoriales y las áreas de influencia (buffers).

Incorporando la cartometría, se ha denominado **cartografía analítica** al área de estudio que, en general, trata del análisis de información geográfica vinculada a una geometría. Con las entidades cartográficas se analizan su forma, su orientación o disposición, sus dimensiones y las distribuciones y patrones espaciales. Se incluyen el

¹³⁷ Consejo Superior Geográfico (2008): Especificaciones de la Base Topográfica. Armonizada 1:5000 (BTA) v1.0, término 1.1.14, página 9.

¹³⁸ Id. Término 1.1.29, página 9.

¹³⁹ Id. Término 1.1.6, página 9.

¹⁴⁰ Id. Término 1.1.28, página 9. Pese a estas definiciones topológicas, en la página 13 se señala "el producto que deriva de estas especificaciones técnicas es una base topográfica vectorial en espagueti, es decir, sin topología explícita, cuyos vértices están representados por tres coordenadas (sic), en general (x, y, H), que permita armonizar las bases topográficas 1:5 000 o 1:10 000 producidas en las CC.AA., DD.FF. y en la AGE".

¹⁴¹ En ISO 19107 se define **computational geometry**: manipulation of and calculations with geometric representations for the implementation of geometric operations. Example.Computational geometry operations include testing for geometric inclusion or intersection, the calculation of convex hulls or buffer zones, or the finding of shortest distances between geometric objects. La comparamos con la cartometría. Sobre esto, Maling, Measurements from Maps, Pergamon Press, Oxford, 1989 y CASACA, J. et al. (2000): Topografía Geral, 2ª ed. Lidel, Lisboa, p.160.

análisis geoestadístico (ocurrencias, similaridad, promedios, distribuciones, por ejemplo) y las mediciones y operaciones topológicas. Cartometría, cartografía analítica, geoestadística y topología geográfica son herramientas cuya utilización se integra en la explotación de las bases de datos en las que se dispone de otros operadores.

Javier Espiago
Servicio de Cartografía de la Universidad Autónoma de Madrid.
Agosto - 2018