

4.- NOCIONES BÁSICAS DE TOPOGRAFÍA E INTERPRETACIÓN DE PLANOS

<u>1</u>	<u>TOPOGRAFIA Y CAPTACIÓN DE DATOS GEOMÁTICOS.....</u>	<u>3</u>
1.1	Introducción y definición conceptual.....	3
1.2	Clasificación operativa de la topografía: Planimetría y Altimetría	3
1.3	Evolución instrumental	4
1.4	Teoría de errores y fiabilidad de las medidas topográficas	5
1.5	Fases de los trabajos topográficos	5
<u>2</u>	<u>ELEMENTOS GEOGRÁFICOS Y SISTEMAS DE REFERENCIA GEODÉSICA</u>	<u>6</u>
2.1	La figura de la Tierra: De la esfera al geoide	6
2.2	Elementos geométricos fundamentales del globo	6
2.3	Coordenadas geográficas: Longitud y latitud.....	7
2.4	Del datum clásico al marco ETRS89	7
<u>3</u>	<u>MAPAS Y PLANOS Y GEOSERVICIOS</u>	<u>8</u>
3.1	Del globo terráqueo al plano: El problema de la representación.....	8
3.2	Definición conceptual: Mapa frente a plano.....	8
3.3	Elementos estructurales de una hoja cartográfica clásica/estándar	8
3.4	La evolución digital: De la hoja estática a los geoservicios	9
<u>4</u>	<u>CONCEPTO Y MANEJO DE ESCALA.....</u>	<u>10</u>
4.1	Fundamento conceptual de la escala.....	10
4.2	Escala numérica y distinción métrica fundamental	10
4.3	Escala gráfica	11
4.4	Del denominador fijo al GSD (<i>Ground Sample Distance</i>) en cartografía digital	11
<u>5</u>	<u>LAS PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS</u>	<u>12</u>
5.1	El problema de la representación plana y clasificación de proyecciones.....	12
5.2	La proyección UTM (Universal Transversa Mercator).....	12
5.3	Coordenadas UTM y sistema dual de localización en cartografía nacional.....	13
5.4	UTM bajo marco ETRS89	13

6	REPRESENTACIÓN DEL RELIEVE: CURVAS DE NIVEL, MDT y LiDAR.....	14
6.1	Fundamento de la representación altimétrica	14
6.2	Las curvas de nivel (método analógico y vectorial clásico).....	14
6.3	Modelos Digitales de Elevación (MDT / MDE)	15
6.4	Tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging).....	16
7	CARTOGRAFÍA OFICIAL FUNDAMENTAL: EL MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN) Y EL PNOA.....	16
7.1	Concepto y jerarquía del Mapa Topográfico Nacional (MTN)	16
7.2	Sistema de indexación y organización de hojas	17
7.3	La evolución digital: De la hoja analógica a la Base Topográfica Nacional (BTN)	17
7.4	El PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea)	18
7.5	Acceso y explotación en la Administración (CNIG y Visores).....	18
8	INTERPRETACIÓN, LECTURA Y ANÁLISIS BASICO DEL TERRITORIO.....	18
8.1	El perfil topográfico: Definición y elementos.....	18
8.2	La exageración vertical (EV)	19
8.3	Cotas negra y roja.....	20
8.4	Cálculo analítico y gráfico de pendientes (i%)	20
8.5	Flujo operativo moderno: Análisis espacial en SIG (QGIS).....	21

TEMA 4.- NOCIONES BÁSICAS DE TOPOGRAFÍA E INTERPRETACIÓN DE PLANOS

1 TOPOGRAFIA Y CAPTACIÓN DE DATOS GEOMÁTICOS

1.1 Introducción y definición conceptual

La topografía (del griego topos, lugar, y graphein, describir) es la ciencia geomática que tiene por objeto la representación gráfica, métrica y descriptiva de una porción de la superficie terrestre de extensión reducida, considerando la Tierra como un plano en primera aproximación.

En topografía se adopta la hipótesis de que la porción de terreno levantada es plana, sustituyendo la superficie esférica/elipsoidal por un plano horizontal tangente en el punto central del trabajo. Esta aproximación es admisible siempre que el error altimétrico por la curvatura terrestre y refracción atmosférica sea inferior a la tolerancia del proyecto (habitualmente para radios inferiores a 10-15 km, donde el error de flecha es inferior a 1-2 cm).

Delimitación con ciencias afines:

- Geodesia: Considera la verdadera figura y dimensiones globales de la Tierra (geoide/elipsoide), abarcando grandes extensiones y requiriendo correcciones por curvatura y refracción esférica.
- Cartografía: Ciencia y técnica de representación gráfica en dos dimensiones de superficies extensas o de la totalidad del globo, aplicando sistemas de proyección cartográfica.
- Fotogrametría y Teledetección: Obtención de medidas métricas y cualitativas de objetos a partir de imágenes fotográficas o sensores remotos (aéreos/espaciales) sin contacto físico.
- SIG (Sistemas de Información Geográfica): Integración, gestión, análisis espacial y explotación de datos georreferenciados en bases de datos relacionales/espaciales..

1.2 Clasificación operativa de la topografía: Planimetría y Altimetría

Para la representación completa tridimensional (X, Y, Z), la topografía se divide operacionalmente en dos ramas inseparables:

- Planimetría: Conjunto de operaciones y métodos geométricos destinados a proyectar sobre un plano horizontal los puntos del terreno (obtención de coordenadas cartesianas planas X, Y). Se miden ángulos horizontales (azimutes/rumbos) y distancias reducidas u horizontales.

- **Altimetría:** Parte de la topografía encargada de determinar la altura de los puntos del terreno respecto a una superficie de referencia (obtención de la coordenada altimétrica Z o cota/altitud). Se fundamenta en la medida de desniveles (Δz).

1.3 Evolución instrumental

El flujo de ha evolucionado drásticamente desde los métodos analógicos tradicionales hasta la adquisición digital integrada:

- Instrumentación clásica (óptico-mecánica y electrónico-digital de primera generación):
 - **Nivel (equialtímetro o de plano horizontal):** Determina diferencias de altitud (desniveles) mediante visuales horizontales a miras verticales (estadia). Fundamental para nivelaciones geométricas de precisión en control de asentamientos, soleras o rasantes.
 - **Teodolito:** Mide ángulos horizontales (azimutes/rumbos) y verticales (cenitales/alturas) con limbos graduados. Hoy desplazado en campo, pero base conceptual de la angularidad.
 - **Estación total:** Integra un teodolito electrónico con un distanciómetro láser/infrarrojo (EDM) y microprocesador interno. Permite medir coordenadas polares espaciales (distancia, ángulo horizontal, ángulo vertical) y calcular coordenadas cartesianas (X, Y, Z) en tiempo real en la libreta electrónica.
- Posicionamiento por satélite GNSS (Global Navigation Satellite System):
 - Empleo de receptores GPS - EE.UU., GLONASS - Rusia, Galileo - UE, BeiDou - China en modo diferencial o RTK (Real Time Kinematic) mediante conexión a estaciones de referencia (como la red ERGNSS del IGN).
 - Proporciona precisiones centimétricas en segundos sin necesidad de visual directa entre vértices, optimizando los replanteos y la toma de inventarios en campo.
- Fotogrametría con UAV (Drones) y Láser Escáner (TLS/ALS)
 - UAV / Drones fotogramétricos: Plataformas fotogramétricas ligeras equipadas con cámaras RGB cenitales/oblicuas. Permiten obtener ortofotografías de ultra-alta resolución (GSD centimétrico) y nubes de densas de puntos mediante estructura por movimiento (SfV/MVS) para zonas de difícil acceso o cubriciones rápidas.
 - Láser Escáner Terrestre (TLS): Barrido cenital/azimutal mediante láser pulsado/de fase de alta frecuencia (cientos de miles de puntos/segundo). Creación de "nubes de

puntos" en 3D para auscultación milimétrica de estructuras hidráulicas complejas (compuertas, aliviaderos, galerías).

1.4 Teoría de errores y fiabilidad de las medidas topográficas

Ninguna medida física es exacta; toda medida contiene error. La topografía clasifica los errores en:

1. Errores groseros (equivocos): Provocados por despiste humano (leer mal la mira, anotar un dígito cambiado, estación mal indexada). Se eliminan mediante controles redundantes y rechazo de la medida.
2. Errores sistemáticos: Siguen una ley física/matemática previsible (dilatación térmica de limbos, error de colimación del retén, error de refracción atmosférica, constante de prisma desajustada). Se corrigen mediante formulación analítica o métodos de doble vuelta de alidada (directa/inversa).
3. Errores accidentales (aleatorios): Variables inevitables de pequeña magnitud que siguen una distribución normal (gaussiana) debidas a limitaciones de percepción y microturbulencias. Se tratan mediante compensación por mínimos cuadrados.
4. Tolerancia: En los pliegues de prescripciones técnicas (PPT) de la AGE, los errores máximos admisibles (tolerancia T) se acotan habitualmente en función de la escala o tipología

1.5 Fases de los trabajos topográficos

1. **Trabajos previos / Planificación:** Recopilación de cartografía existente, definición del sistema de referencia, reconocimiento del terreno y señalamiento de vértices de apoyo base.
2. **Trabajo de campo** (Captación / Replanteo):
 - Levantamiento: Toma de puntos detalle (radiación, intersección, itinerometría) para modelizar el terreno.
 - Replanteo: Traslado de la geometría del proyecto (planos CAD/GIS) al terreno físico mediante estacas, marcas de pintura o clavos topográficos.
3. **Trabajo de gabinete / Procesamiento:** Descarga de datos, filtrado de errores groseros, compensación de redes, generación de Modelos Digitales de Terreno (MDT), planos y memorias técnicas georreferenciadas.

2 ELEMENTOS GEOGRÁFICOS Y SISTEMAS DE REFERENCIA GEODÉSICA

2.1 La figura de la Tierra: De la esfera al geoide

La figura de la Tierra se puede aproximar de distintas formas según la precisión exigida:

- **Aproximación esférica:** En primera aproximación, se considera una esfera de radio medio aproximado de **6.366 km** (a veces referenciado en la práctica didáctica en torno a 6.371 km).
- **Elipsoide de revolución:** Una precisión mayor muestra el aplastamiento de los polos, transformando la esfera en un elipsoide. Este aplastamiento equivale proporcionalmente a 1 mm en una esfera de 30 cm de radio, resultando prácticamente imperceptible a simple vista.
- **El Geoide:** Superficie teórica real vinculada al campo de gravedad terrestre y a la fuerza centrífuga de rotación, que coincide de forma aproximada con el nivel medio reposado de los mares prolongado por debajo de los continentes.
- **Criterio operativo:** Conocer el geoide con exactitud matemática es complejo por la distribución irregular de masas terrestres. Por ello, para facilitar los cálculos de la cartografía y la topografía, se simplifica la forma de la Tierra asimilándola al **elipsoide** o a la esfera regular, que poseen formulación geométrica exacta.

2.2 Elementos geométricos fundamentales del globo

Sobre la representación geométrica global se definen los elementos de referencia espacial:

- **Eje terrestre:** Recta ideal de rotación diurna de la Tierra. Se mantiene sensiblemente paralelo a sí mismo en la traslación y apunta permanentemente hacia las proximidades de la Estrella Polar en nuestro hemisferio.
- **Polos:** Puntos de intersección del eje terrestre con la superficie (Polo Norte y Polo Sur).
- **Planos meridianos y meridianos:** Todo plano que contiene al eje terrestre es un plano meridiano. Su intersección con la superficie dibuja los **meridianos**, que son semicírculos iguales de polo a polo.
- **Planos paralelos y paralelos:** Planos perpendiculares al eje terrestre. Su intersección genera los **paralelos**. Destaca el **círculo ecuatorial o Ecuador**, de radio máximo, que divide el planeta en hemisferio Norte y hemisferio Sur.

- **Localización elemental:** Por cada punto P de la superficie pasa un único meridiano (del lugar) y un único paralelo, cuya intersección define biunívocamente su posición geométrica.

2.3 Coordenadas geográficas: Longitud y latitud

- **Longitud (λ):** Valor del arco de Ecuador comprendido entre el meridiano del punto considerado y el meridiano adoptado como origen oficial (Greenwich, 0°). Se cuenta de 0° a 180° hacia el Este (E) o hacia el Oeste (W/O).
- **Latitud (Φ):** Distancia angular entre el plano del Ecuador y el punto considerado, medida sobre el meridiano del lugar. Varía de 0° a 90°, siendo positiva/Norte en el hemisferio norte y negativa/Sur en el hemisferio sur.
- **Notación y lectura:** Ambas magnitudes se miden en grados, minutos y segundos sexagesimales (DD°MM'SS"), debiendo indicarse siempre el hemisferio correspondiente (ejemplo clásico: 20°S, 30°E).

2.4 Del datum clásico al marco ETRS89

La cartografía analógica tradicional operaba con datums locales (como Madrid/ED50 en península). Hoy en día, la gestión pública técnica exige unificar la referencia espacial mediante el marco oficial vigente.

- **Marco geodésico oficial en España (Real Decreto 1071/2007):**
 - **Península y Baleares:** Se adopta el sistema **ETRS89** (*European Terrestrial Reference System 1989*), solidario a la placa euroasiática, eliminando la deriva temporal de coordenadas a efectos prácticos de gestión ordinaria.
 - **Canarias:** Se adopta el sistema **REGCAN95**.
- **Impacto práctico:**
 - Cuando consultas hoy un visor institucional (PNOA, visores de Confederaciones Hidrográficas, SIG corporativo del Ministerio), los datos están georreferenciados en **ETRS89** (combinado con proyección UTM).
 - **Error común a evitar:** Superponer cartografía antigua en soporte papel o ráster histórico sin transformar de ED50 a ETRS89 provoca desplazamientos planimétricos de entre **100 y 400 metros**, invalidando cualquier replanteo o informe técnico.

3 MAPAS Y PLANOS Y GEOSERVICIOS

3.1 Del globo terráqueo al plano: El problema de la representación

La forma más intuitiva de comprender la espacialidad de la Tierra es mediante un modelo a escala reducida en tres dimensiones: el **globo terráqueo o "bola del mundo"**. Sin embargo, este soporte presenta una utilidad analítica muy limitada: permite identificar grandes masas continentales, cordilleras principales u océanos, pero resulta inoperante para el detalle requerido en la gestión técnica (identificar edificaciones, parcelas, trazas de conducciones, elementos hidráulicos o pequeños arroyos).

El reto fundamental consiste en proyectar una superficie curva tridimensional sobre un soporte bidimensional (papel o pantalla digital), asumiendo inevitables compromisos de deformación geométrica.

3.2 Definición conceptual: Mapa frente a plano

La cartografía clásica y normativa distingue claramente ambos conceptos en función de la extensión abarcada y la curvatura terrestre:

- **Mapa:** Representación plana de una parte de la superficie terrestre realizada a una determinada escala que, debido a su **gran extensión**, requiere obligatoriamente tener en cuenta la curvatura del planeta mediante sistemas de proyección cartográfica.
- **Plano:** Representación gráfica de **pequeña extensión superficial** en la que se desprecia la curvatura terrestre, considerándose el terreno como plano (el plano tangente trazado en el centro coincide prácticamente con la superficie local de la esfera/elipsoide).

3.3 Elementos estructurales de una hoja cartográfica clásica/estándar

Independientemente del soporte (analógico o vectorial digital), la información cartográfica se estructura en:

1. **Espacio central de representación:** Conjunto de puntos, líneas, tramas, colores y polígonos que simbolizan los elementos naturales y artificiales del territorio.
2. **Toponimia:** Conjunto de textos rotulados que identifican nominalmente núcleos de población, accidentes geográficos, vías de comunicación o infraestructuras.

3. Información marginal (leyenda y claves auxiliares):

- Leyenda de **signos convencionales** (símbolos de carreteras, cursos de agua, vértices geodésicos, límites administrativos).
- Indicación de escala numérica y gráfica.
- Marcos de referencia de coordenadas rotulados en el borde (coordenadas geográficas en grados/minutos en color negro; cuadrícula UTM en kilómetros en color azul, típico del MTN).

3.4 La evolución digital: De la hoja estática a los geoservicios

Hace unas décadas se limitaban a la lectura de hojas físicas del Mapa Topográfico Nacional (MTN) en papel. Hoy, la gestión diaria se apoya en **Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE)** y estándares abiertos del OGC (*Open Geospatial Consortium*).

- **Concepto de geoservicio web:** Un geoservicio permite consumir cartografía y datos espaciales en tiempo real desde servidores remotos sin necesidad de almacenar gigabytes de ficheros locales estáticos.
- **Tipología de geoservicios estándar:**
 - **WMS (*Web Map Service*):** Sirve imágenes mapa georreferenciadas (ráster visualizable, ej. capas de PNOA o MTN ráster). No permite consultar atributos alfanuméricos complejos ni editar geometría.
 - **WMTS (*Web Map Tile Service*):** Variante optimizada mediante teselas (*tiles*) pre-renderizadas que garantiza fluidez extrema de navegación en visores web (ej. mapa base del IGN).
 - **WFS (*Web Feature Service*):** Sirve entidades vectoriales reales (puntos, líneas, polígonos con su tabla de atributos asociada), permitiendo descargas parciales, consultas alfanuméricas de campo (ej. identificar titularidad, cota o código de una masa de agua) y análisis directo en SIG de escritorio.
- **Visores institucionales:**
 - **Visor del IGN / CNIG:** Acceso a cartografía oficial vectorizada, MDT y ortofotografías históricas/actuales.

- **PNOA (*Plan Nacional de Ortofotografía Aérea*)**: Cobertura nacional de ortofotografía digital de alta resolución (GSD centimétrico).
- **Visores de las Confederaciones Hidrográficas**: Consulta de Dominio Público Hidráulico (DPH), zona de policía, perímetro de embalses, zonas inundables (SNCZI) y redes de control SAIH.

4 CONCEPTO Y MANEJO DE ESCALA

4.1 Fundamento conceptual de la escala

El primer problema que afecta a la representación de la superficie terrestre es la desproporción dimensional entre la realidad y el soporte de trabajo. Mediante el uso de una proporción constante dentro del mapa o plano obtenemos una figura semejante a la real, pero de dimensiones considerablemente menores.

La **relación existente entre las distancias medidas en un plano o mapa y las correspondientes en la realidad se denomina escala**. Por tanto, la escala es una **proporción entre dos magnitudes lineales**, independientemente del sistema de unidades de longitud que se utilice.

4.2 Escala numérica y distinción métrica fundamental

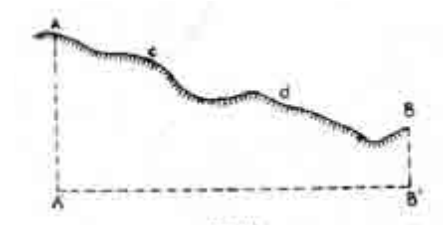
- **Expresión analítica**: La escala numérica se expresa mediante una fracción que indica la relación entre la distancia medida de dos puntos en el mapa (numerador) y la correspondiente en el terreno (denominador) de modo directo entre las mismas unidades del sistema. Se formaliza como:

$$E = \frac{P}{T} = \frac{\text{Plano}}{\text{Terreno}}$$

(Ej. la escala 1:500.000 o 1/500.000 indica que una unidad medida en el mapa equivale a 500.000 unidades medidas en la realidad).

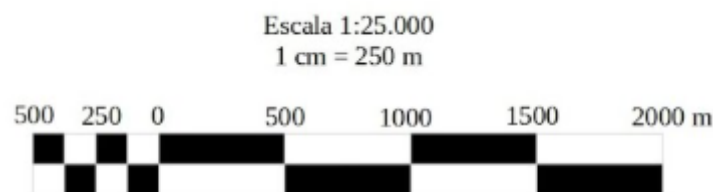
- **Distancia horizontal/reducida frente a distancia natural**:
 - La distancia entre dos puntos del terreno obtenida midiendo sobre el plano es la **distancia horizontal** —también llamada **distancia reducida**— que los separa (segmento A'B', proyección horizontal de los puntos).

- Esta distancia es distinta de la que se obtendría medida directamente sobre la orografía real, que denominamos **distancia natural** (trayectoria real sobre el relieve, ej. línea quebrada AcdB). En topografía de obra o proyectos lineales, ignorar la componente de pendiente subestima la longitud real de eje.



4.3 Escala gráfica

- **Definición y estructura:** La escala gráfica es una línea situada en el mapa, habitualmente en un margen de la hoja, dividida en segmentos para indicar las longitudes sobre el mapa de las unidades terrestres de distancia.



Permite medir la distancia real directamente sobre el mapa con ayuda de una regla o un compás, manteniendo validez métrica incluso si el soporte impreso sufre modificaciones dimensionales por humedad/dilatación (a diferencia de la escala numérica estricta).

4.4 Del denominador fijo al GSD (*Ground Sample Distance*) en cartografía digital

En los visores corporativos actuales (PNOA, ortofotografías aéreas, MDT ráster), la "escala nominal" de impresión pierde rigidez debido al zoom dinámico. El parámetro métrico de referencia en ráster es la resolución.

- **GSD (*Ground Sample Distance* / Distancia de muestra en terreno):** Tamaño lineal del terreno representado por un píxel en una imagen digital ortorrectificada. (Ej. un PNOA con GSD de 25 cm/píxel implica que el centro de dos píxeles contiguos se separa 0,25 m en la realidad).

- **Correlación de detalle:** Un GSD centimétrico (25-50 cm) dota a la ortofoto de capacidad analítica equivalente a escalas de detalle de gabinete tradicional (1:1.000 a:5.000), superando la rigidez del mapa analógico estático.

5 LAS PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS

5.1 El problema de la representación plana y clasificación de proyecciones

- **Imposibilidad geométrica:** Representar la superficie curva de la Tierra sobre un plano sin sufrir deformaciones es geoméricamente imposible (intuitivamente análogo a intentar extender una cáscara de naranja o envolver una pelota en papel plano). La cartografía resuelve este problema mediante **proyecciones cartográficas** de compromiso.
- **Clasificación según el tipo de deformación:**
 - **Conformes:** Mantienen los ángulos locales que forman dos líneas en la superficie terrestre (esencial para navegación, orientación y topografía de precisión angular).
 - **Equivalentes:** Respetan y conservan las proporciones de las superficies (clave para cartografía temática o de distribución de superficies).
 - **Equidistantes:** Conservan la proporción de las distancias reales a lo largo de direcciones específicas.
- **Clasificación según la superficie auxiliar de proyección:**
 - **Planas o perspectivas:** Proyección directa de la esfera sobre un plano tangente o secante.
 - **Por desarrollos:** Uso de superficies auxiliares desarrollables en plano (cilíndricas o cónicas).

5.2 La proyección UTM (Universal Transversa Mercator)

- **Definición geométrica:** Proyección cilíndrica transversa en la que el cilindro es tangente o secante al meridiano central de referencia.
- **Estructura global:**
 - Divide el globo terráqueo en **60 husos de 6° de longitud** cada uno, numerados progresivamente de oeste a este a partir del antemeridiano de Greenwich.

- En cada huso, únicamente el **meridiano central** (origen de longitudes del huso) y el **ecuador** aparecen como rectas perpendiculares entre sí. Los demás paralelos y meridianos son curvas complejas.
- Introduce un factor de escala en el meridiano central ($k_0 = 0.9996$) para minimizar la deformación global del cilindro secante.

5.3 Coordenadas UTM y sistema dual de localización en cartografía nacional

- **Coordenadas cartesianas UTM (X_{UTM} , Y_{UTM}):** Expresadas en metros, permiten referenciar unívocamente cualquier punto mediante ejes ortogonales dentro de cada huso.
- **Husos aplicados en España:** Para la cobertura del territorio nacional se emplean tres husos en la Península y Baleares, y otros dos en Canarias, abarcando los **números 27, 28, 29, 30 y 31**.
- **Dualidad de rotulación en cartografía oficial (ej. MTN):**
 - *Coordenadas geográficas (Φ , λ):* Rotuladas en el marco de la hoja en color **negro** (grados, minutos y segundos sexagesimales).
 - *Coordenadas UTM (X , Y):* Rotuladas en la cuadrícula interior y bordes en color **azul** (unidades kilométricas/métricas).
- *Limitación métrica:* Al ser una proyección plana por zonas, la distancia medida sobre la cuadrícula UTM sufre una deformación de escala proporcional a la distancia respecto al meridiano central del huso.

5.4 UTM bajo marco ETRS89

La teoría clásica UTM se complementa obligatoriamente hoy con la vinculación al datum oficial **ETRS89** (RD 1071/2007).

Las coordenadas UTM operativas en los visores de la AGE (MITECO, Confederaciones Hidrográficas, PNOA) están referidas al elipsoide GRS80 bajo el marco **ETRS89**.

Criterio práctico de explotación: En proyectos lineales extensos o cuencas que cruzan límites de huso UTM (ej. transición entre el huso 30 y el huso 29 en la península), es obligatorio gestionar la discontinuidad de cuadrícula y aplicar factores de escala/convergencia de meridianos para evitar errores geométricos acumulados en el replanteo o georreferenciación de elementos lineales.

6 REPRESENTACIÓN DEL RELIEVE: CURVAS DE NIVEL, MDT y LiDAR

6.1 Fundamento de la representación altimétrica

La representación de la componente altimétrica (Z) sobre un soporte bidimensional (papel o pantalla) requiere traducir la variación de cotas en lenguaje gráfico. Históricamente se emplearon hachurados (rayas de pendiente), sombreados o tintas hipsométricas (escalas cromáticas altimétricas), pero el estándar métrico de precisión universal es la **curva de nivel**, complementada hoy por la modelización digital continua.

6.2 Las curvas de nivel (método analógico y vectorial clásico)

- **Definición:** Intersección geométrica del terreno real con un conjunto de planos horizontales paralelos y equidistantes. Todos los puntos situados sobre una misma curva de nivel tienen exactamente la misma cota ortométrica.
- **Parámetros clave:**
 - **Equidistancia (e):** Desnivel vertical constante entre dos curvas de nivel consecutivos. (Ej. $e = 10\text{ m}$ en MTN 1:50.000; $e = 2\text{ m}$ o 1 m en cartografía de detalle o proyectos de obra civil).
 - **Curvas directoras (o índice):** Representadas con trazo más grueso y rotuladas periódicamente con su cota, se intercalan habitualmente cada 4 o 5 curvas finas ordinarias para facilitar la lectura.
- **Propiedades geométricas fundamentales:**
 1. Son líneas cerradas (aunque el cierre quede fuera de los límites de la hoja cartográfica).
 2. **No se cruzan nunca** (excepto en accidentes geográficos excepcionales de extraplomo o pared vertical pura, representados con tramas especiales).
 3. La **separación gráfica** entre curvas es inversamente proporcional a la **pendiente** del terreno: curvas muy juntas → pendiente fuerte; curvas separadas → terreno suave/llano.

4. Cruce con accidentes hidrográficos/orográficos:

- **Vaguada (valle o cauce):** Las curvas se curvan formando una "V" o "U" cuyo vértice apunta hacia las **cotas crecientes** (aguas arriba).
- **Divisoria (cresta o lomo):** Las curvas forman "V" o "U" cuyo vértice apunta hacia las **cotas decrecientes** (hacia la base de la vertiente).
- **Morfologías tipo identificables:** Collado o puerto (paso entre dos cimas), hoyo o cubeta cerrada (marcada con ganchos o quedad), ladera uniformemente inclinada, cóncava (suaviza abajo) o convexa (suaviza arriba).

6.3 Modelos Digitales de Elevación (MDT / MDE)

En los SIG y visores de la AGE, el relieve ya no se interpreta solo con líneas de tinta, sino mediante matrices o mallas de cálculo espacial.

- **Distinción terminológica fundamental:**
 - **MDE (*Digital Surface Model* / **Modelo Digital de Superficie**):** Representa la elevación de la primera superficie reflectante captada (incluye copa de árboles, tejados de edificios, infraestructuras).
 - **MDT (*Digital Terrain Model* / **Modelo Digital del Terreno**):** Representa estrictamente la superficie del **suelo desnudo** (filtrada y eliminada la vegetación y elementos antrópicos). *Es el insumo obligatorio para hidrología, modelización de avenidas, cubicaciones de excavación y deslindes.*
- **Estructuras de almacenamiento de datos altimétricos:**
 - **Ráster (Grid / Mjella regular):** Matriz de celdas cuadradas con un valor de cota por celda (asociado a resolución espacial GSD, ej. celdas de 5 X 5m o 1 X 1 m). Óptimo para análisis espaciales matriciales, pendientes y cuencas.
 - **TIN (*Triangulated Irregular Network* / **Red de Triángulos Irregulares**):** Estructura vectorial basada en triangulación de Delaunay a partir de puntos críticos o nubes de puntos. Adapta la densidad de vértices a la complejidad del relieve (más denso en rupturas de pendiente, escaso en zonas llanas).

6.4 Tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging)

- **Principio físico:** Empleo de pulsos láser aerotransportados (ALS) o terrestres (TLS) desde plataforma móvil/dron/avión, midiendo el tiempo de vuelo de ida y vuelta del haz pulsado ($d = c \cdot t/2$).
- **Retorno múltiple (*Multi-return*) y clasificación:** Un único pulso láser choca contra las hojas/copas superiores, parte atraviesa el follaje y otro eco rebota en el suelo. El procesamiento filtra los ecos y clasifica la nube de puntos 3D en clases normalizadas ASPRS: *Ground* (suelo), *Vegetation* (baja, media, alta), *Buildings*, *Water*, *Low points/noise*.
- **Derivados analíticos masivos en la AGE:**
 - Generación de **PNOA-LiDAR** (cobertura nacional pública abierta en el portal del IGN/CNIG).
 - Creación de **Hillshading (sombreamiento cenital o iluminación artificial oblicua):** Simula la iluminación solar del relieve desde un azimuth/cenit fijo, haciendo emerger visualmente fallas, taludes, microrelieves, rasantes arqueológicas o huellas de cauces antiguos sepultados.
 - Extracción automatizada de MDT de alta resolución centimétrica y cálculo derivado de curvas de nivel vectoriales.

7 CARTOGRAFÍA OFICIAL FUNDAMENTAL: EL MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL (MTN) Y EL PNOA

7.1 Concepto y jerarquía del Mapa Topográfico Nacional (MTN)

El **Mapa Topográfico Nacional (MTN)** es la cartografía básica y oficial de referencia en España, producida y mantenida por el **Instituto Geográfico Nacional (IGN)**, organismo autónomo dependiente del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. Representa de forma unificada, homogénea y continua los elementos naturales y artificiales del territorio nacional.

Las escalas fundamentales de cobertura sistemática son:

- **MTN50 (escala 1:50.000):** Visión de conjunto comarcal/provincial, planimetría general, red viaria principal, orografía con equidistancia de curvas de nivel estándar (habitualmente 10m).

- **MTN25 (escala 1:25.000):** Escala de detalle operativo estándar para planificación territorial, análisis medioambiental, estudio de cuencas vertientes y delimitaciones municipales/sectoriales, con equidistancias más finas (5m o 2m)

7.2 Sistema de indexación y organización de hojas

- **Estructura cartográfica clásica:** El territorio peninsular, Baleares, Ceuta y Melilla se descompone en hojas normalizadas. Una hoja del MTN50 abarca 30' de longitud por 20' de latitud (o divisiones equivalentes métricas/geodésicas según el sistema de rejilla). Cada hoja del MTN50 se subdivide en **cuatro cuadrantes** (NE, SE, SW, NW) para generar las hojas del **MTN25**.
- **Información marginal obligatoria:** Toda hoja cartográfica tradicional o ráster derivada muestra en su marco:
 - Número y nombre de la hoja (topónimo principal).
 - Coordenadas geográficas (esquina del marco en negro) y coordenadas UTM (cuadrícula métrica/kilométrica en azul).
 - Declaración de datum geodésico (histórico ED50 / actual ETRS89), declinación magnética anual y fecha de edición/actualización fotogramétrica.

7.3 La evolución digital: De la hoja analógica a la Base Topográfica Nacional (BTN)

El MTN en papel ya no se dibuja ni se actualiza de forma analógica. Hoy en día, el IGN genera el MTN a partir de bases de datos vectoriales continuas georreferenciadas: **BTN25 y BTN50**.

- **Base Topográfica Nacional (BTN):** Modelo vectorial georreferenciado en **ETRS89 / UTM** estructurado en capas temáticas OGC (red viaria, hidrografía, ocupación del suelo, altimetría, edificaciones, límites administrativos).

Permite extracciones selectivas en formato vector (*Shapefile*, *GeoPackage*, *PostGIS*), consultas SQL de atributos, análisis de redes de drenaje o intersección de capas de afección sin los errores de tolerancia gráfica del papel impreso.

7.4 El PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea)

Proyecto cooperativo entre la Administración General del Estado (IGN) y las Comunidades Autónomas para disponer de cobertura continua de ortofotografía aérea de alta resolución de todo el territorio español.

- **Ortofotografía:** Fotografía aérea geométrica corregida de los desplazamientos debidos a la inclinación de la cámara y al relieve del terreno, permitiendo **medir distancias directamente sobre la imagen** como si fuera un plano planimétrico.
- **Resolución (GSD):** Estándar nacional de alta resolución nominal de 25 cm/pixel (y 15-50cm o superior en zonas urbanas o de interés estratégico mediante vuelos específicos).
- **Ciclo de renovación temporal:** Actualización plurianual sistemática (ciclos de 2 a 3 años según zona).

Evolución a True Orthophoto (Ortoenvolvente real): Corrección de oclusiones y desplazamientos en edificios altos o taludes verticales extremos (donde la ortofoto estándar "tumba" la fachada), mediante modelización 3D avanzada.

7.5 Acceso y explotación en la Administración (CNIG y Visores)

- **Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG):** Portal público de descarga masiva gratuita de cartografía vectorial (BTN), MDT LiDAR, ortofotos PNOA y hojas históricas del MTN.
- Uso de capas PNOA como **fondo de validación visual** en campo y gabinete.
- Sobreexposición de vectoriales de dominio público, parcelario catastral o infraestructuras sobre el teselado WMS/WMTS oficial del PNOA/IGN.

8 INTERPRETACIÓN, LECTURA Y ANÁLISIS BASICO DEL TERRITORIO

8.1 El perfil topográfico: Definición y elementos

El **perfil topográfico** es la representación gráfica de la intersección del terreno con un plano vertical que pasa por una traza planimétrica determinada (*línea de perfil*).

Permita visualizar la orografía a lo largo de un eje lineal (carretera, conducción, canal, canalización, deslinde).

- **Ejes coordenados del perfil:**
 - **Eje horizontal (X):** Representa las **distancias reducidas (horizontales)** acumuladas desde el origen de la traza (PK 0+000).
 - **Eje vertical (Z):** Representa las **altitudes u cotas ortométricas** respecto al nivel de referencia (nivel del mar / Alicante), habitualmente con un origen falso o acotado inferior para evitar vacíos innecesarios.
- **Elementos representados en un perfil longitudinal de proyecto civil:**
 - **Rasante o línea roja (Z_R):** Línea geométrica que define la cota de fondo o coronación de la obra proyectada.
 - **Terreno natural o línea negra (Z_N):** Línea poligonal que refleja la altitud real del terreno obtenida del MDT o nivelación.

8.2 La exageración vertical (EV)

- **Concepto:** En obras lineales extensas, las diferencias altitudinales son pequeñas en comparación con la longitud horizontal (ej. un tramo de 5 km con desnivel de 50 m). Dibujar a escala 1:1 haría que el perfil pareciera una línea casi horizontal sin relieve legible.
- **Fórmula de exageración vertical:**

$$EV = \frac{E_{\text{horizontal}}}{E_{\text{vertical}}}$$

(Ej. si la escala horizontal del perfil es 1:1.000 y la vertical es 1:100, entonces $EV = 10$).

- **Efecto visual y métrico:** Comprime el eje horizontal o estira el vertical. Las pendientes aparentes en el dibujo están distorsionadas por el factor EV, por lo que **las pendientes reales y longitudes inclinadas deben calcularse siempre a partir de las cotas y distancias nominales**, no midiendo ángulos geométricos sobre el papel deformado.

8.3 Cotas negra y roja

En la lectura de perfiles de proyectos de ingeniería civil y gestión de infraestructura:

- **Cota negra (Z_N):** Cota del terreno natural en un punto kilométrico (PK) dado.
- **Cota roja (Z_R):** Cota de rasante del proyecto en el mismo PK.
- **Definición de cota roja / altura de tierra:**

$$CR = Z_R - Z_N$$

- Si $CR > 0 \rightarrow$ Terraplén (es necesario **rellenar** material).
- Si $CR < 0 \rightarrow$ Desmonte (es necesario **excavar** material).
- En los cuadros de cartela de perfiles longitudinales, se rotulan de forma normalizada: *PK*, *Cota Rasante*, *Cota Terreno*, *Cota Roja (con signo o diferenciada por color rojo/negro o tramas de terraplén/desmonte)*.

8.4 Cálculo analítico y gráfico de pendientes (i%)

La **pendiente (i)** expresa la relación porcentual entre el desnivel vertical (Δz) y la distancia horizontal o reducida (D_h) que separa dos puntos:

$$i(\%) = \left(\frac{\Delta z}{D_h} \right) \times 100 = \left(\frac{Z_B - Z_A}{D_{AB}} \right) \times 100$$

Cuando trabajas sobre un plano con curvas de nivel (a escala 1:M), el cálculo se estructura en tres pasos independientes y legibles:

1. Calcula el desnivel vertical (Δz):

$$\Delta z = n \cdot e$$

- n = número de espacios/intervalos de curva cruzados.
 - e = equidistancia entre curvas (en metros).
2. Pasa la medida del plano a distancia horizontal real (D_h):

$$D_h = d_{\text{plano (cm)}} \times \left(\frac{M}{100} \right)$$

- d_{plano} = distancia medida con regla en el papel/pantalla (**en centímetros**).
- M = denominador de la escala (ej. 5.000 en escala 1:5.000, donde 1 cm = 50 m)

3. Aplica la fórmula final

$$i(\%) = \frac{\Delta z}{D_h} \times 100$$

8.5 Flujo operativo moderno: Análisis espacial en SIG (QGIS)

La lectura manual en papel se complementa o sustituye en gabinete por análisis vectorial/ráster automatizado en **QGIS**:

Operación SIG	Herramienta / Módulo QGIS nativo	Resultado analítico obtenido
Generación de perfil longitudinal	Plugin <i>Profile Tool</i> o <i>Terrain Profiles</i> (nativo QGIS moderno)	Gráfica X-Z continua a partir de capa ráster MDT + línea vectorial de traza. Exportable a CSV/DXF.
Mapa de pendientes (<i>Slope</i>)	<i>Raster analysis</i> → <i>Slope</i> (desde MDT)	Capa ráster de salida donde cada píxel almacena el valor de pendiente en grados (°) o porcentaje (%).
Clasificación de rasantes / Zonificación	<i>Raster calculator</i> / <i>Reclassify by table</i>	Identificación automática de zonas con pendiente crítica (ej. $i > 20\%$ en taludes de seguridad o accesos).