

EVOLUCIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA REPRESENTACIÓN DEL TERRENO A LO LARGO DE LA HISTORIA

Miguel Ángel León Casas, Carlos A. León Robles

En el presente artículo se expone, en primer lugar, las diferentes maneras de representar la orografía del terreno desde los primeros mapas hasta el siglo XVII. Se indica como “veían” la tierra, o sus territorios, las civilizaciones antiguas, el mundo clásico, la Edad Media (mapas T en O, mundo árabe y portulanos), y el Renacimiento (Descubrimientos, Padrón Real de la Casa de Contratación de Sevilla, Padrão Real de la Casa de Indias de Lisboa, Escuela de Dieppe en Normandía y Escuela de los Países Bajos).

Posteriormente, se estudian los procedimientos para representar el relieve en el siglo XVIII por orden de aparición: Puntos acotados, líneas estructurales, sombreado, líneas de máxima pendiente y curvas de configuración horizontal. Por último, se abordará el desarrollo de una representación más científica, correspondiente al siglo XIX, cuando aparecen las normales y las curvas de nivel.

Aunque los acontecimientos cartográficos se sucedan en las páginas de este trabajo, no ha sido nuestra intención historiar la Cartografía, sino seguir, a través del tiempo, el proceso de la representación del territorio, desde la óptica de la propia representación gráfica de los documentos planimétricos. Se ha pretendido analizar, y esa es la hipótesis de partida, cómo el proceso histórico para representar el terri-

torio y su relieve, ha seguido una evolución *darwiniana* –en expresión del Prof. Ernst Gombrich–, desde unos convencionalismos gráficos empíricos, hasta la sistematización rigurosa de los procedimientos geométricos del Sistema Acotado.

1. Introducción

El inicio de nuestro sistema cartográfico actual se ha atribuido por todos los investigadores a los griegos, que consiguieron un nivel técnico y de conocimientos no igualado hasta entrado el siglo XVI. Fue gracias al impulso de las ciencias, del pensamiento y de las artes en la Grecia Antigua, y después en Alejandría bajo el Imperio Romano, como los sabios, cosmógrafos, astrónomos y matemáticos que en el área del Mediterráneo investigaban estos temas, pudieron establecer las primeras directrices para la representación científica de la superficie terrestre. No obstante, en ese periodo toda la ambición de los cartógrafos era la de obtener una planimetría tan correcta como fuese posible.

Mientras que desde los primeros esbozos cartográficos la planimetría ha aproximado sus formas en lo esencial, la orografía se ha estancado durante mucho tiempo por la insuficiencia de los métodos y de los instrumentos pa-

1 / AUNHAC, GEORGES. “Historie de la Cartographie des Montagnes”. Institut Geographique National de France. *Bulletin d'information* n° 48. París, 1983, p.3.

2 / ROULEAU, BERNARD. “Methodes de la Cartographie”. *Presses du CNRS*. París, p.127.

ra resolver. Es necesario definir las formas de la superficie topográfica de una manera precisa y completa y que, al mismo tiempo, represente una imagen inmediatamente perceptible, dando así una impresión lo más correcta posible de la realidad. “La orografía, para dar una definición precisa y completa debe cumplir una serie de condiciones que se refieren a la definición geométrica del relieve y a su expresión plástica” 1. De la misma opinión es Bernard Rouleau, cuando afirma que “la expresión del relieve puede efectuarse en función de dos objetivos muy diferentes: representar el modelado de la superficie del suelo por figuraciones expresivas o sugestivas, o bien construir por procedimientos gráficos o geométricos las variaciones cuantitativas de esa superficie” 2.

El siglo XVIII comenzó con la apasionante progresión en el estudio y medida de la tierra, la realización de triangulaciones cada vez más densas y el progreso permanente de la Geodesia y de la Cartografía, considerada por entonces geométrica. Se llega, pues, a la época más interesante de la historia de la representación del relieve, en que la altimetría va a adquirir en los planos tanta importancia como la planimetría. La orografía debía satisfacer, a la vez, a la representación geométrica del relieve y a su expresión plástica. La pri-



3 / ALINHAC, GEORGES. "Histoire de la Cartographie des Montagnes". Institut Geographique National de France. *Bulletin d'information* nº 48. París, 1983, p.3.

4 / CUENIN, RENÉ. *Cartographie Générale*. París, Eyrolles, 1972, p.200.

5 / IMHOF, EDUARD. *Cartographic Relief Presentation*. Berlín- New York, Walter de Gruyter, 1982, p.1.

6 / PALADINI CUADRADO, ÁNGEL. "La representación del relieve en los mapas a lo largo de la Historia". Servicio Geográfico del Ejército. *Boletín de Información* nº 72. Primer semestre. 1991, pp.11-49.

1. Primeras formas para representar el relieve.

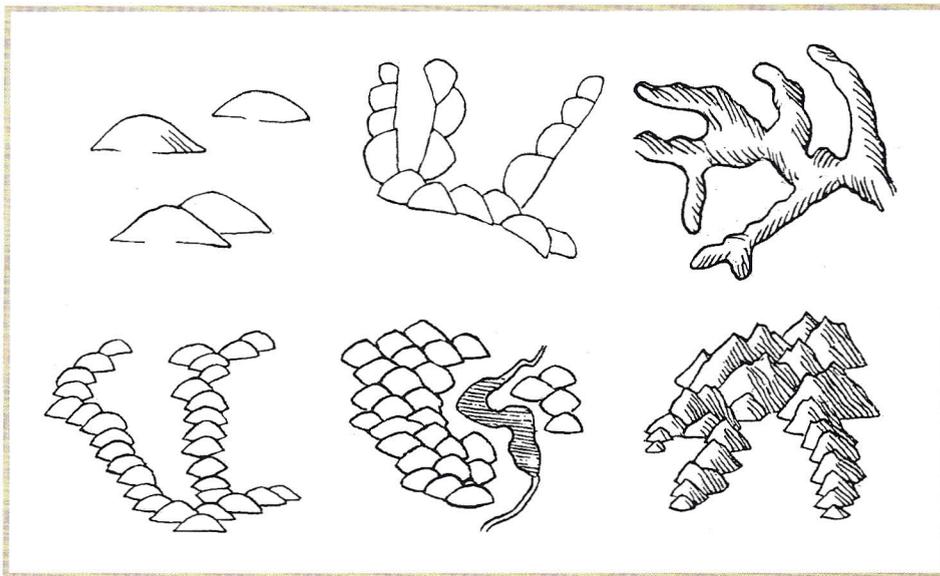
mera condición se consiguió con un conjunto denso de puntos acotados, convenientemente seleccionados para que definiesen las formas generales del terreno en un sistema que permitiese la interpolación de altitudes, el cálculo de pendientes y el levantamiento de perfiles. Por su parte, la expresión plástica del relieve debía permitir la percepción del terreno en sus tres dimensiones.

En el siglo XVIII aparecieron los siguientes sistemas de representación: Puntos acotados, líneas estructurales, sombreado, líneas de máxima pendiente, curvas de configuración horizontal del terreno y curvas de nivel. En el siglo XIX se desarrollan, sobre bases científicas, alguno de los citados y adquieren plena vigencia otros, que sustituyen o complementan a los anteriores, tales como: Normales, curvas de nivel, difuminación, tintas hipsométricas, representaciones especiales y combinación de sistemas.

2. Perfiles abatidos

En los orígenes toda la ambición de los cartógrafos era la de obtener una planimetría tan correcta como fuese posible. La representación de las formas del terreno, que aún no parece necesitarse, "se considera como un aspecto que dependa únicamente de una mirada o de una intuición, procedentes exclusivamente del gusto y de la práctica del dibujante; en resumen se trataba de la técnica paisajista" 3. En este aspecto inciden autores como R. Cuenin 4 y E. Imhof 5.

Fue el primer método utilizado en la representación del relieve, aunque es imprescindible decir que este modo de representar no tiene absolutamente



te nada de geométrico, sino que, por el contrario, resulta bastante arbitrario y, además, posee el grave inconveniente de ocultar una gran parte del terreno. De cualquier modo, la forma más común de representación cartográfica de las montañas fue la simple y uniforme vista o perfil lateral de una elevación, denominada "hilera de piedras" según A. Paladini 6, "topera" según Imhof, o "montículos" según B. Rouleau (fig.1)

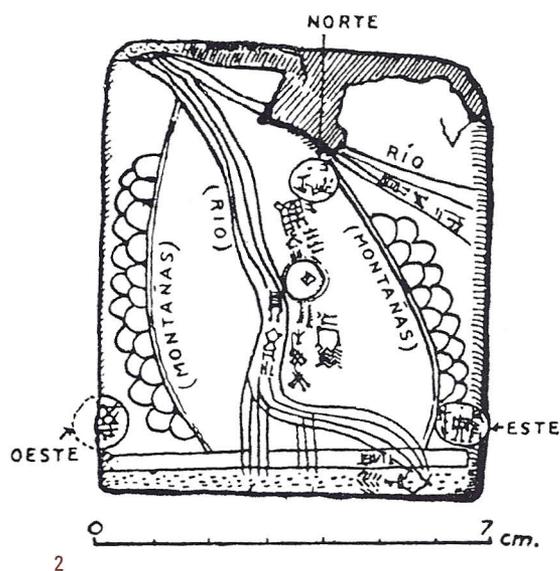
2.1. Evolución del procedimiento de perfiles abatidos

En los primitivos mapas babilonios ya aparecen montañas de este estilo, como el de Ga Sur (siglo xxv a. de J.C.), e igual procedimiento emplearon los egipcios en los mapas que se han conservado hasta nuestros días, y los romanos en obras más tardías, como los itinerarios del estilo de la *Tábula de Peutinger*. Estas representaciones laterales aparecen de nuevo en los mapas

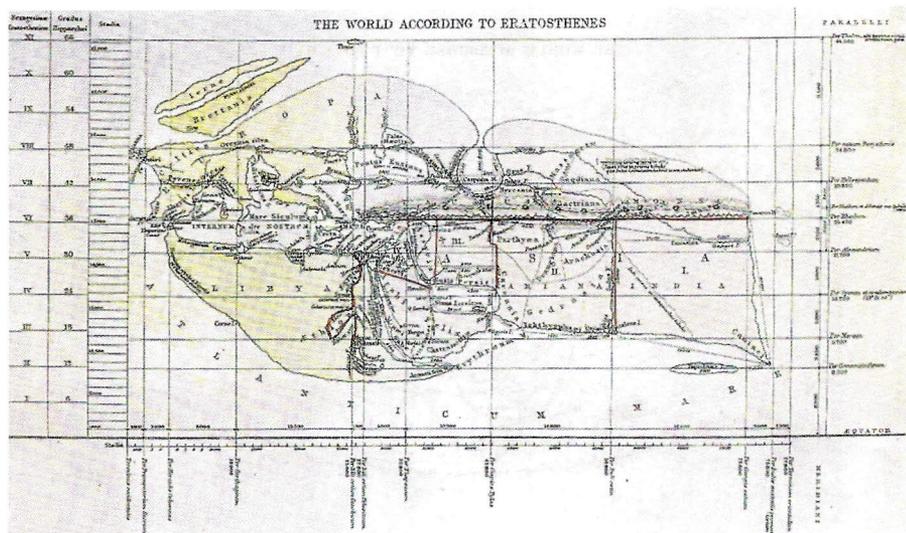
de los monjes medievales, en los planos portulanos y en copias de mapas ptolomeicos y romanos. Fueron muy empleados en los Portulanos y en la cartografía del Renacimiento, cuando comenzó a florecer, y permanecieron en muchos mapas posteriores hasta el final del siglo XVIII. Este rudimentario sistema continuó usándose hasta fechas muy recientes: en el atlas inglés de Saxton del siglo XVI, en el atlas francés de Sanson del siglo XVII, y todavía en los mapas de Tomás López en pleno siglo XVIII. Los únicos progresos realizados en este campo, con el transcurso de los siglos, habían sido exclusivamente de tipo estético.

2.1.1. Civilizaciones antiguas y del mundo clásico

El mapa más antiguo conocido en nuestros días, datado 2.500 a. J.C., se descubrió en las excavaciones de las ruinas de la ciudad de Ga Sur, Mesopotamia, y se conserva en la actuali-



2

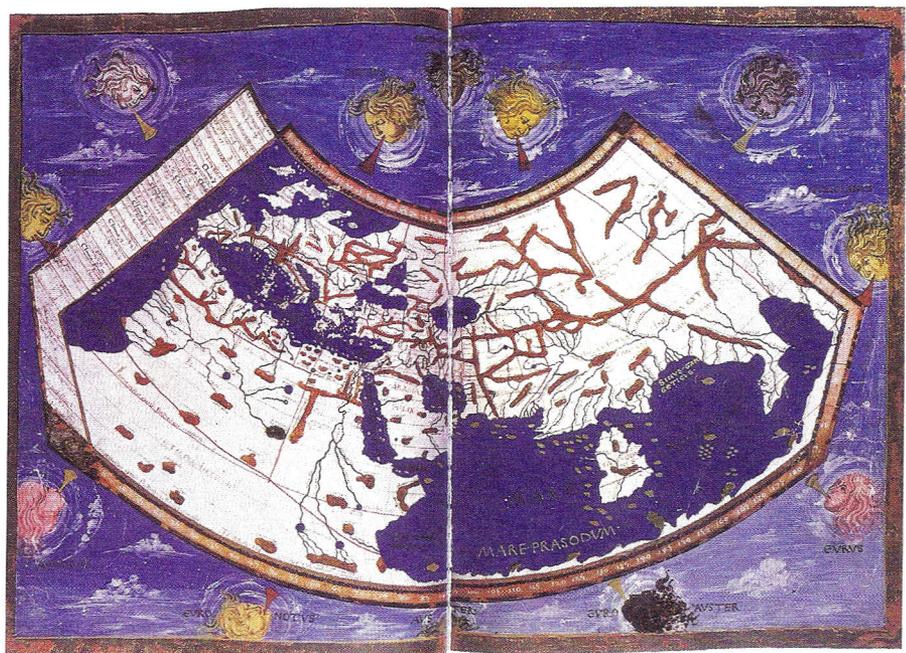


3

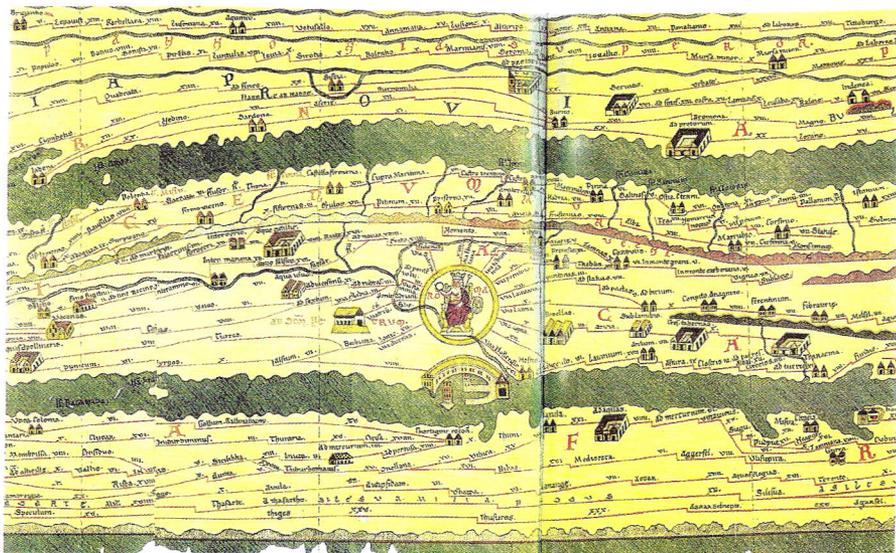
dad en el Museo Semítico de la Universidad de Harvard. Aparece representado el río Éufrates rodeado por los montes Zagros al Este y la cadena del Antilíbano al Oeste. (fig. 2).

¡La mayor parte de la cartografía griega es conocida por los escritos de Herodoto y de Estrabón de Amasea (64 a. J.C. - 23 d. J.C.). Para éste último, el filósofo **Anaximandro de Mileto** (611-547 a. J.C), conciudadano y discípulo de Thales de Mileto, fue el primer geógrafo que *dibujó en una tablilla todo el ámbito de la tierra habitada con todos los mares y todos los ríos*. El plano de Anaximandro fue perfeccionado, de manera admirable, por **Hecateo de Mileto** (545-475 a. de J.C.), considerado por muchos autores como el padre de la Geografía. Se presentaba la Tierra como un disco circundado por el Océano.

Eratóstenes de Cirene (273-192 a. J.C.), filósofo, astrónomo, geógrafo, matemático y director de la Biblioteca de Alejandría, autor de *Tratado de Geografía*, donde se ocupó de definir la imagen del Ecúmene mediante la aplicación de métodos geométricos, intentando realizar una organización cartográfica bidimensional, rompiendo definitivamente con la visión unidimensional de los periplos. El mapa se perdió, pero fue descrito con el sufi-



4



5



2. Mapa babilónico de Ga Sur.
3. Sistema geográfico de Eratóstenes.
4. Mapamundi de Ptolomeo.
5. Tábula de Peutinger.

cientemente detalle como para poder ser reproducido, (fig. 3).

El apogeo de la cartografía griega, en la época del Imperio Romano, se encuentra unido al nombre de **Claudio Ptolomeo de Ptolemaida** (90 a 168 d. de J.C.), matemático, astrónomo y geógrafo, vivió en Alejandría donde llevó a cabo una intensa actividad científica, que en gran medida dejó plasmada en una voluminosa y variada obra escrita. El texto de la Geografía de Ptolomeo iba acompañado, en la mayor parte de los manuscritos, de un mapamundi (fig. 4) y de veintiséis mapas detallados.

Paralelamente a toda esta ingente actividad científica, empieza a tomar forma un nuevo interés hacia el espacio y su repartición, iniciado por César y fomentado por Augusto. Las exigencias de gobernabilidad impulsaban hacia la realización de una serie de trabajos de índole geográfica, cartográfica y administrativa, que incluyeran la redacción de libros y mapas catastrales sobre diversas regiones, así como la elaboración, ahora mucho más prolífica, de itinerarios. Se conserva una muestra de este tipo de cartografía romana, la denominada **Tábula de Peutinger** (fig. 5), dibujada en el siglo I después de J.C. No es un mapa en el sentido estricto de la palabra, sino más bien un cartograma representativo de las rutas imperiales del mundo conocido, trazadas sobre un esquema excesivamente alargado y deformado en la dirección este-oeste.

2.1.2. Edad Media

En el campo de la Geografía se conservó la noción de esfericidad de la Tierra, aunque prevaleció la aceptación de la antigua forma discoidal, idea no del to-

do abandonada en la cultura clásica, expresada con el lema “Orbis Terrarum”, esquematizado en un plano de forma circular con la “O” del océano que rodeaba al disco terrestre, y la “T” que simboliza con su trazo vertical el mar Mediterráneo y con el trazo horizontal, o transversal, a las aguas del río Don, mar Azov, mar Negro, Bósforo, mar Mediterráneo oriental y río Nilo.

En el periodo comprendido entre los siglos V y IX radicó en España el foco más destacado de la cultura geográfica de Occidente, pues si bien en otros países se escribían obras dedicadas a la geografía eran menos apreciables por los estudiosos al no ir acompañadas de mapas explicativos. Fueron los casos de “La historia contra los paganos”, escrita en el año 416 por el tarraconense **Pablo Orosio**, **San Isidoro** de Sevilla en sus “Etimologías” escritas en el siglo VII y en el siglo VIII el **Beato de Liébana**, cuyos mapas tuvieron una gran difusión en el estudio de la geografía en reproducciones que se sucedieron hasta el siglo XIII. Un notable avance respecto a representaciones de esta especie, aunque no perdió el carácter simbólico de la tradición cristiana, fue el mapa de **Richard de Haldingham** en la segunda mitad del siglo XIII, conservado en la catedral de Hereford; el más tardío de **Ebstorf**, del viejo convento de religiosas de Luneburgo, y, por último, el de **Fra Mauro**, realizado en 1459, en pleno Renacimiento.

2.1.3. El mundo árabe

Durante la época en que la cartografía occidental era poco más que una ilustración decorativa de textos teológicos, el mundo musulmán recogió y sobrepasó la tradición de la antigüedad

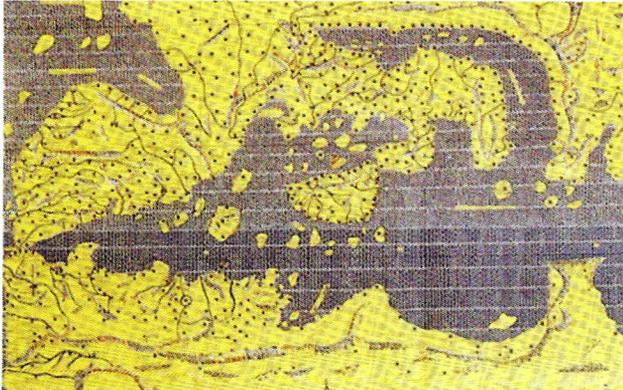
clásica. A partir del siglo IX, el mundo árabe establecido sobre territorio de viejas culturas (desde Bizancio a la India) que habían pasado a su poder, produce su propia cartografía enriquecida con aportaciones importantes de aquellos pueblos y, sobre todo, por la herencia de Ptolomeo transmitida a través de sabios bizantinos, y por amplios conocimientos de astronomía. Asimilados los métodos antiguos, calcularon de nuevo la longitud del grado de meridiano, construyeron esferas celestes y estudiaron las proyecciones.

Geógrafo y cartógrafo destacado fue **Al-Idrisí** (1099-1166), nacido en Ceuta, invitado por Roger II de Sicilia a su corte escribió una geografía descriptiva conocida como el *Libro de Roger*. En 1154 terminó su obra a la que acompañaba un gran mapamundi, denominado *Tábula Rogeriana*, (fig. 6).

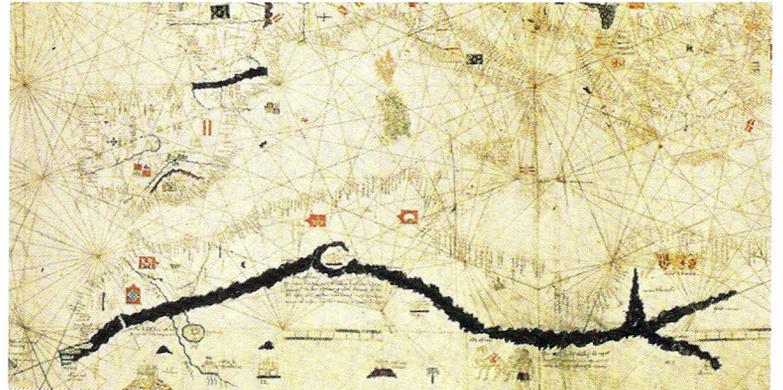
2.1.4. Los Portulanos

El comercio, en el entorno del Mar Mediterráneo, propiciará el desarrollo de las denominadas cartas portulanos, o simplemente Portulanos. Las representaciones cartográfico-teológicas de los monjes europeos no podían satisfacer las necesidades de los navegantes. El Portulano, cuyo uso marítimo fue atestiguado hacia final del siglo XIII, contrasta casi totalmente con el mapamundi tradicional T. en O. El empirismo se impone allí donde reina el concepto.

En el siglo XIV el arte y técnica del trazado de los portulanos en el reino de Aragón alcanzó su edad de oro: Pedro IV (1336-1386) dictó una ordenanza en el año 1354 en la que se decretaba que cada galera debía llevar dos cartas marítimas en todas las navegaciones, conforme al inventario de los



6



7

perrechos. Los centros en los que aparecen inicialmente las cartas portulanas son Génova, Palma de Mallorca y Venecia. Los ejemplos más típicos de tales documentos de geografía integral son las cartas de **Angelino Dulcert** (1339), (fig. 7), de **Abraham Cresques** (1375), de **Mecíá de Viladestes** (1413) y las de **Gabriel Valseca** (1439 y 1447).

La más sobresaliente de todas las representaciones orográficas en la cartografía medieval mallorquina es, sin duda alguna, la cordillera correspondiente al actual Atlas africano, la cordillera de los Alpes y los montes de Bohemia en cuyo interior tiene su nacimiento el río Elba.

2.1.5. El Renacimiento

El Renacimiento trajo grandes cambios en todos los campos de la ciencia y de la cultura; y la geografía y la cartografía no fueron ajenas a ellos. La imagen medieval del mundo no se correspondía con la realidad. Los únicos mapas que podían servir de instrumento y de

guía en el mundo real eran los portulanos, pero éstos se limitaban sólo al Mediterráneo y países limítrofes de África, Asia y Europa. Al renacimiento de la cartografía contribuyeron tres hechos importantes: la aparición, o hallazgo, de la *Geographia* de Ptolomeo, la invención de la imprenta por Gutenberg, 1454, que permitió la reproducción de mapas de forma más exacta y en número ilimitado, y los grandes descubrimientos geográficos.

2.1.5.1. La Casa de Contratación de Sevilla y el Padrón Real

Hecho trascendental para la cartografía de esta época fue la creación en Sevilla, por Real Cédula de 14 de febrero de 1503, de la **Casa de Contratación**, consecuencia de los descubrimientos atlánticos, como lugar donde centralizar el comercio y organizar las flotas para las Indias. En el año 1508 se ordenó por Real Cédula a **Américo Vespucio** que “se haga un Padrón general y porque se haga más

cierto mandamos a los nuestros oficiales de la Casa de Contratación de Sevilla que hagan juntar todos nuestros pilotos, los más que hallaren en tierra a la sazón, y en presencia de vos el dicho Américo Vespucio, nuestro piloto mayor, se ordene y haga un padrón general, el cual se llame padrón real, y por el cual todos los pilotos se hayan de regir y gobernar y esté en poder de los dichos nuestros oficiales y de vos el dicho piloto mayor que ningún piloto use de otro ninguno, sino del que fuera sacado de él” 7.

Con esta orden se pretendía unificar conocimientos y que todos los pilotos utilizaran las mismas cartas, contrastadas y puestas al día. Este sería el patrón o modelo de carta de navegar al que sólo los cosmógrafos oficiales tenían acceso y quedaría en la Casa de Contratación.

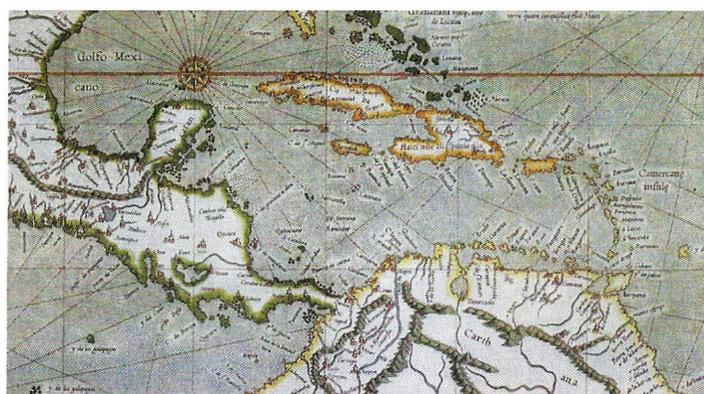
Formaron parte del Padrón Real las siguientes: *Carta universal anónima Oliveriana de Pesaro*, 1505-1510; *Carta universal anónima de Turín*,



- 6. Fragmento mapamundi de Al-Idrisí.
- 7. Fragmento Carta Portulana de A. Dulcert.
- 8. Fragmento carta universal de J. Vespucio.
- 9. Fragmento mapa del mundo. Mercator.



8



9

1523; *Carta universal Salviatti*, 1525; *Carta universal de Juan Vespucio*, 1526, (fig. 8); *Carta universal Diego Ribero*, 1529; *Cartas universal y de América de Alonso de Chaves*, 1536; *Islario general de Alonso de Santa Cruz*, 1545; *Carta universal de Sancho Gutiérrez*, 1551; *Atlas de Joan Martínez*, 1587.

Aunque anteriores a la Real Cédula de 1508 por la que se ordenaba a Américo Vespucio que se realizase un Padrón General, se incluyen en este apartado dos cartas celebres, dignas de estudio y muy significativas, tanto por la personalidad y circunstancias personales de sus respectivos autores como por sus aportaciones geográficas en aquella época: Carta de **Cristóbal Colón**, 1492, y carta de **Juan de la Cosa**, 1500.

Cartas grabadas de la Casa de Contratación, con el mismo sistema de representación de la orografía, fueron: Mapamundi de **Sebastián Caboto**, 1544; Mapa de España de **Pedro Me-**

dina, 1548, y mapas de **Gerónimo de Chaves**, 1570.

2.1.5.2. La Casa de Indias de Lisboa y el Padrão Real

Paralelamente, en Portugal, tras la muerte de Enrique el Navegante, la importancia de Sagres disminuye en beneficio de la Casa de Indias de Lisboa, verdadero Ministerio de Colonias. Así, Lisboa en el año 1499, tras el regreso de Vasco de Gama y con todos los recursos necesarios disponibles, se convierte en gran capital geográfica de Europa, creándose el **Padrão Real**. Obras destacables fueron el *Planisferio de Cantino*, 1502; y el *Atlas Miller*, 1520-1525, que muestran el progreso del conocimiento europeo sobre Arabia e India, y la puerta hacia las islas de las especias. Sus autores fueron los mejores cartógrafos de la época: el maestro de cartas marinas **Lopo Homen**, **Pedro Reinel**, su hijo **Jorge Reinel** y el dibujante **Gregorio Lopes**.

2.1.5.3. La Escuela de Dieppe en Normandía

La influencia española y portuguesa sobre los cartógrafos franceses del siglo XVI es innegable, sin olvidar, por supuesto, algunos aspectos inherentes a los mismos como, por ejemplo, la riqueza decorativa de sus mapas, la delicadeza del trazo y la iluminación. El centro cartográfico más importante, tanto por la calidad de sus obras como por su elevada producción, radicó en el puerto marítimo de Dieppe en el periodo 1534-1587. Destacan el *Mapamundi* de **Pierre Desceliers**, 1550; y el *Atlas* de **Guillaume le Testu**, 1556.

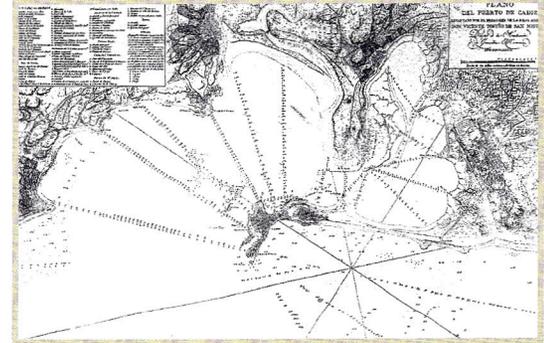
2.1.5.4. La Escuela de los Países Bajos

Los siglos XVI y XVII constituyen un periodo crucial en la historia de la cartografía porque fue durante esas dos centurias cuando se pusieron las bases de la que es nuestra actual y cotidiana relación con los mapas. Si hubiera que buscar un escenario en aquella Europa donde colocar el surgimiento y los primeros

10. Mapa de Baviera. Philip Apian. 1568.
11. Plano Puerto de Cádiz. V. Tofiño.



10



11

ejemplos de esa relación sería el de los antiguos Países Bajos, que, entonces, vivieron un Siglo de Oro cartográfico.

Estudiosos con formación astronómica y matemática irán tomando el relevo a viajeros y navegantes, convirtiéndose en los maestros de la nueva cartografía. Fue en lugares como Lovaina, Amberes y Amsterdam, gracias a la obra de geógrafos y cartógrafos como Mercator, Ortelius, Hondius y la familia Blaeu, donde se gestó una nueva técnica de levantamiento cartográfico y donde se crearon los medios para la masiva difusión de los mapas. El cartógrafo más famoso del Renacimiento fue Gerard Mercator (1512-1594) y su trabajo más importante fue el mapa del mundo *Nova et Aucta Orbis Terrae Descriptio*, publicado en Duisburg (Alemania), 1569, y levantado utilizando un sistema de proyección cilíndrica conforme inventado por él (fig. 9).

2.1.5.5. Los mapas nacionales y regionales en España

Durante la primera mitad del Renacimiento las naciones más representa-

tivas de Europa en aquella época, España, Portugal, Francia e Inglaterra principalmente, dedicaron sus mayores esfuerzos cartográficos al conocimiento de las rutas marítimas y las posesiones de Ultramar. En cambio, con las naturales y loables excepciones, se advierte un desfase entre esa febril actividad y la muy escasa que tuvo como objetivo las representaciones de los distintos territorios nacionales.

Obras destacables pueden considerarse el *Atlas de El Escorial*, 1550-1560, atribuido a Pedro de Esquivel, contemporáneo del inglés Christopher Saxton y quizá más notable; el *mapa del Reino de Aragón*, 1620, de Joao Baptista de Lavanha; el *mapa del Principado de Cataluña*, 1687, de Ambrosio Borsano; el *mapa de Cataluña*, 1720, de José Aparici; el *plano de la Isla de Mallorca*, 1784, de Antonio Despuig; el *mapa del Reino de Valencia*, 1795, de Antonio José Cavanilles y la extensa producción cartográfica de Tomás López y Vargas Machuca (1731-1802).

3. Perspectiva caballera

Durante el periodo renacentista iba a aparecer una representación más realista de las formas del terreno cuando los científicos y artistas empezaron a interesarse por las montañas. El punto de vista se fue elevando y el relieve se expresaba utilizando figuras más o menos convencionales, cuyos contornos se asemejan a perspectivas superpuestas tomadas desde un punto elevado.

Ejemplos significativos, donde se muestran las formas del relieve de forma individual pero en continua conexión, como si hubiesen sido representados a vista de pájaro, son el *mapa de Toscana*, dibujado por Leonardo da Vinci entre 1502 y 1503; el *mapa del Cantón de Zurich* de Jost Murer; el *mapa de Baviera* de Philip Apian, 1568, (fig. 10); y el *mapa de Francia* de F. de la Guillotière, 1632.

4. Puntos acotados

Las operaciones de altimetría permiten la determinación de un cierto número de cotas de altitud adaptadas a



8 / ANTILLON, ISIDORO DE. *Lecciones de geografía astronómica, natural y política, escritas de orden de S.M. para uso principalmente del real Seminario de nobles de Madrid*. Madrid, 1804, tomo I, p. 27.
 9 / LITER MAYAYO, CARMEN, SANCHIS BALLESTER, FRANCISCA y HERRERO VIGIL, ANA. *Cartografía de España en la Biblioteca Nacional (siglos XVI al XIX)*. Bilbao, 1994, p. 24.

un nivel de referencia. Si estas cotas son suficientemente numerosas se puede admitir que la pendiente es constante entre dos puntos. La superficie del terreno está perfectamente definida desde el punto de vista geométrico, pero la representación no es clara ni expresiva. En cuanto el terreno sea un poco accidentado una definición precisa no puede obtenerse sino es con una multitud de puntos acompañados de sus respectivas cotas, solución que es generalmente incompatible con la representación clara de la planimetría. Este procedimiento se usa, casi exclusivamente, en los mapas marítimos debido esencialmente al espacio disponible.

Un ejemplo es el plano del Puerto de Cádiz (fig. 11), levantado a escala 1/31.000, 1789, por la Comisión Hidrográfica para el *Atlas Marítimo de España*, al mando del Brigadier **Vicente Tofiño de San Miguel**. Representa el relieve submarino por sondas batimétricas, expresadas en brazas de 6 pies de agua, y también indica veriles, bajos, bancos de arena y amplitud de la marea. El relieve terrestre lo simboliza mediante una mezcla de líneas de máxima pendiente y sombreado.

5. Líneas estructurales

Se puede, en cierta manera, descomponer la superficie del terreno en un número determinado de superficies planas, a modo de superficie poliédrica, cuyas aristas, intersección de planos contiguos, constituyen las líneas estructurales. Su representación, acompañada de las cotas de sus puntos de intersección, corresponde a un plano de geometría acotada.

Este método se utiliza en los mapas de los atlas escolares o de guías turísticas, que indican de forma bastante rudimentaria y esquemática la orografía de una superficie topográfica. Fuera de los puntos acotados no permite ninguna apreciación de las altitudes, de las pendientes y, por supuesto, de la propia configuración del terreno.

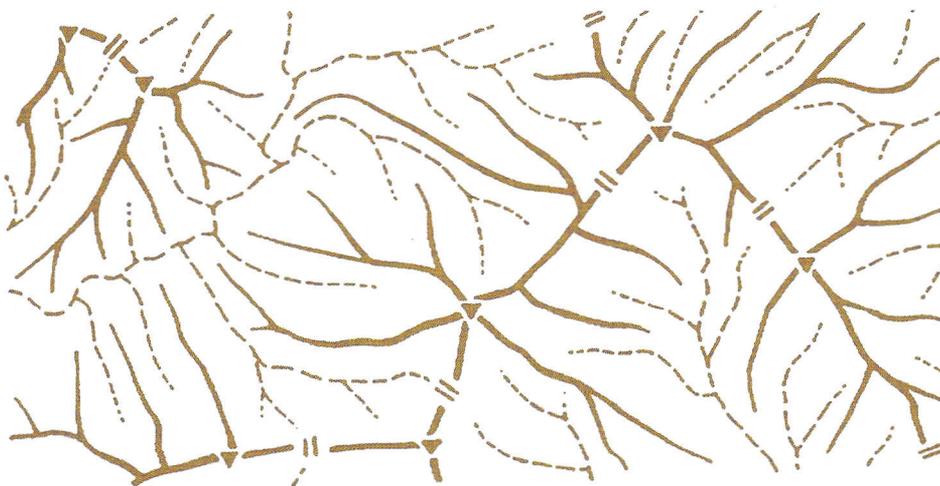
6. Sombreado

El primer método utilizado con el que se obtenía una cierta sensación de relieve fue el de sombreado, que ya se aplicaba en los mapas dibujados en perspectiva para acentuar la impresión óptica del relieve, como se ha puesto de manifiesto en los casos estudiados anteriormente. En efecto, cualquier cuerpo expuesto a la luz presenta unas partes más o menos iluminadas y otras en sombra, lo cual contribuye a la percepción de su volumen.

Según el geógrafo Antillon, “en tiempos del rey Felipe V se hicieron en toda la extensión de las Audien-

cias del reino operaciones geométricas para acertar a construir una Carta exacta y circunstanciada de España. Con arreglo a estas operaciones y bajo los auspicios del marqués de la Ensenada, trazaron la deseada carta los jesuitas Martínez y de la Vega, desde 1739 hasta 1743, que se encuentra en la biblioteca del duque del Infantado” 8.

En efecto, los jesuitas **Carlos Martínez** (1710-1774) y **Claudio de la Vega** recibieron el encargo del marqués de la Ensenada de levantar un mapa de España “suficientemente detallado y ejecutado con las necesarias operaciones técnicas, en el que quedarían también reflejadas las nuevas divisiones creadas por los Decretos de Nueva Planta” 9. El mapa lleva el título “Exposición de las operaciones geográficas hechas por orden del Rey N.S. Felipe V en todas las Audiencias Reales situadas entre los límites de Francia y Portugal, para acertar a formar un mapa exacto y circunstancial de toda España” (fig.12).





12



13

7. Líneas de Máxima pendiente

El siguiente procedimiento para la representación geométrica del relieve, que fue utilizado durante toda la segunda mitad del siglo XVIII, consistió en hacer figurar en los mapas las líneas de máxima pendiente de las laderas. Estas líneas, que partiendo de las divisorias se dirigían a las vaguadas, permitían, además, alcanzar efectos de sombreado, juntándolas más o menos o engrosando sus trazos, pero sin tener en cuenta las reglas de la iluminación oblicua. Este sistema no refleja ni las formas reales del terreno, ni las diferencias de altitud, ni el valor de las pendientes. No existe ninguna regla que relacione la intensidad de las sombras que aportan las líneas con el valor de las pendientes.

Sobre el terreno, los topógrafos no realizaban ninguna medida de nivelación y tampoco determinaban cotas aisladas, sino que se limitaban con esbozar la dirección de las líneas en el momento del trazado, por lo que su representación sólo poseía un valor cualitativo, nunca cuantitativo.

Era un sistema muy apropiado para expresar el relieve en los mapas grabados al cobre, por lo que se aplicó ampliamente, como en la célebre *Carte géométrique de la France* de los **Cassini**, (1749-1789), (fig. 13), máximo exponente de este sistema, a escala 1:86.400. Poseía una planimetría científica muy conseguida, con gran cantidad de detalles, pero la representación de las montañas resulta defectuosa. Los Cassini realizaron un exhaustivo trabajo geodésico, basado en triangulaciones, del territorio francés, pero, en contraposición a esa excepcional labor la altimetría presentaba las deficiencias indicadas anteriormente.

Otros autores y obras cartográficas notables levantadas por este sistema fueron: **Jorge Juan y Antonio de Ulloa**, expedición para la medición de un grado del arco de meridiano y levantamientos efectuados en América, (1736-1744); **José Espinosa y Tello y Felipe Bauzá y Cañas**, *carta esférica de la parte interior de la América Meridional. Carretera Valparaíso a Buenos Aires. Paso de los Andes*, 1749. Expedi-

ción Alejandro Malaspina; **Gaspard Monge** y la expedición napoleónica a Egipto, 1798; **Francisco Dalmau**, mapa topográfico de la ciudad de Granada, 1796.

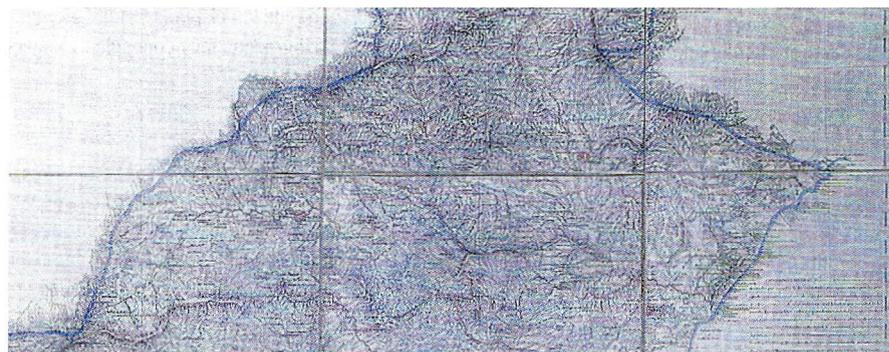
8. Curvas de configuración horizontal del terreno

Un precedente de las curvas de nivel se encuentra en las denominadas curvas de configuración, de conformación o croquizadas, que trataban de mostrar lo que sería la intersección del terreno con una serie de planos horizontales, manifestando las inflexiones del suelo, con sus entrantes y salientes. Se croquizaban sobre el propio terreno en el curso de los levantamientos y después, en el posterior dibujo del mapa se combinaban, a veces, con las líneas de máxima pendiente, con el sombreado, o con ambos a la vez.

Durante el siglo XVIII y primer cuarto del siglo XIX se presentaron al gobierno de la nación varios proyectos para la formación del Mapa de España, levantado de forma científica, a



10 / PALADINI CUADRADO, ÁNGEL. "La representación del relieve en los mapas a lo largo de la Historia". Servicio Geográfico del Ejército. *Boletín de Información* nº 72. Primer semestre. 1991, pp.11-49.



14

modo y manera de la Carta de Francia. Desgraciadamente, por unas causas u otras, todas las tentativas quedaron en frustración hasta que cristalizó la del Coronel **Francisco Coello de Portugal y Quesada** realizando el *Atlas de España y posesiones de Ultramar*, (1841-1875), (fig. 14).

El sistema de las curvas de configuración fue el empleado por Francisco Coello en sus mapas, aunque "con escasa fortuna, pues el mapa quedaba oscurecido por la abundancia de tales curvas, superpuestas a veces a los signos convencionales de bosque, monte alto o pinar, estando todo ello estampado en negro, lo que dificulta la lectura del mapa en general y de la rotulación especialmente" 10.

9. Normales

El sistema de curvas de nivel presentaba al inicio de su empleo algunos inconvenientes, tales como que su determinación precisa era muy laboriosa para las técnicas de la época; la expresión plástica del terreno que

proporcionaban era pobre en general; en los mapas estampados en blanco y negro podían confundirse con detalles planimétricos lineales; y, finalmente, la costumbre y la rutina daban preferencia a la representación del relieve por las líneas de máxima pendiente. En consecuencia, la tendencia fue conservar estas líneas en los mapas generales y dejar las curvas de nivel para los planos a escalas grandes de zonas reducidas.

Ahora bien, como tampoco podían ignorarse las curvas de nivel, y las líneas de máxima pendiente son perpendiculares a éstas, se ideó un procedimiento mixto. En las minutas originales se dibujaban las curvas de nivel, que después servían de pauta al grabador para trazar las líneas de máxima pendiente en las planchas de impresión, sin grabar las curvas de nivel. Las líneas de máxima pendiente quedaban así definidas por trazos cortos normales a cada par de curvas de nivel consecutivas. Esta es la razón de que este sistema se denominase "representación del relieve por normales".

12. Fragmento mapa de España. Jesuitas Mtnez y de la Vega.

13. Fragmento Carte Géométrique de la France. Familia Cassini. 1747-1789.

14. Fragmento mapa provincia Almería. Francisco Coello.

15. Fragmento Carte de l'Etat Major de France.

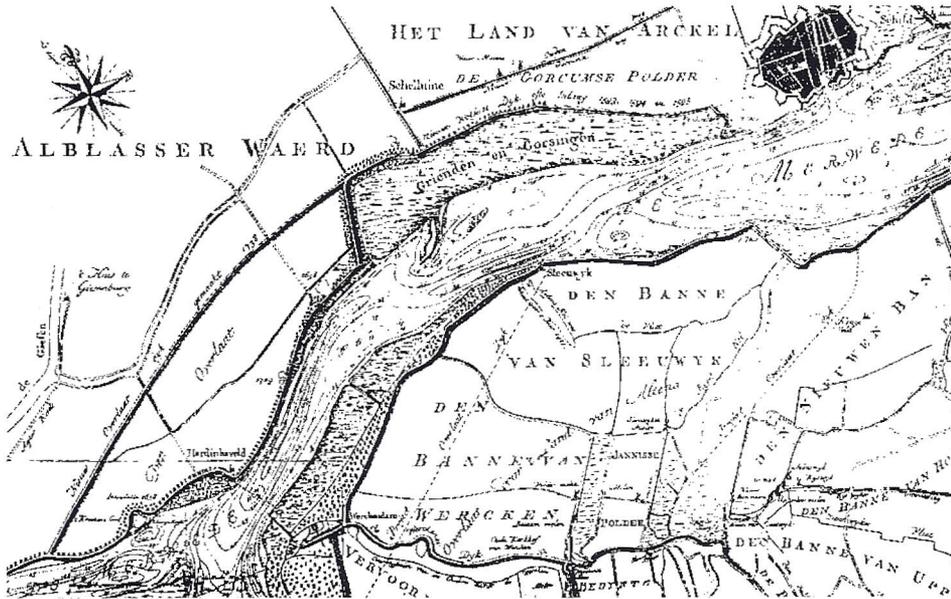


15

En definitiva, se pretendía que las normales fuesen segmentos que materializasen las líneas de mayor pendiente de un terreno, traduciendo los valores de las pendientes a través de variaciones de longitud, de espesor y de distanciamiento. Estos valores se obtenían aplicando los diferentes diapasones que, sin solución de continuidad, iban apareciendo: **Johann Georg Lehmann**, (1797); Ley del cuarto de **Benoit**, (1818); **von Müffling**, (1821); **Bonne**; **Hossard**, y la del español **Bielsa** en 1846.

Este sistema de representación fue el empleado en el mapa de Francia, a escala 1:80.000, llamado *Carte de l'Etat Major*, (1818-1880), (fig. 15), que se convirtió en el primero verdaderamente digno de ser calificado como topográfico. Un siglo después de su terminación era el único que, con su ampliación a 1:50.000, cubría todo el territorio francés.

En 1808, el Coronel **Rigobert Bonne**, por encargo de Napoleón, presentó el proyecto de un nuevo mapa de Francia, concebido para reemplazar al mapa de Cassini y que debería formar-



se según los últimos progresos técnicos y científicos. Se ejecutó, por primera vez, una nivelación topográfica apoyada en la altitud de los puntos geodésicos, a partir de los cuales los topógrafos determinaron las cotas de los puntos característicos del terreno, puntos secundarios, pendientes, etc.

Autores y obras notables realizadas mediante este método son, igualmente, Bacler d'Albe (1801), Mapa del Emperador (1801-1807), Domingo Fontán Rodríguez y la Carta Geométrica de Galicia (1817-1834), Mapa de Capitaine (1822-1823), Comisión Hidrográfica de las Rías de Galicia (1827-1834), Guillaume Henri Dufour y la Carta de Suiza (1842-1864), Auguste Henri Dufour y el Atlas Nacional de España (1845) y Comisión Hidrográfica de la Península (1862-1899).

10. Curvas de nivel

Como quiera que el sistema de puntos acotados presentaba una gran complejidad para la comprensión del mapa, numerosos puntos con sus correspondientes cotas, fue lógico, visto hoy día, el paso dado de unir los puntos adyacentes de igual profundidad mediante una línea. La claridad y utilidad de los mapas se incrementó con este procedimiento, limitando la información a líneas de igual intervalo que representaban, cada una, profundidades particulares.

En consecuencia, el paso definitivo para representar geoméricamente el relieve del terreno consistió en convertir las curvas de configuración horizontal en verdaderas curvas de nivel, llamadas también líneas altimétricas, hipsométricas o hipsoisas. Estas líneas,

con igual significado, se denominan de profundidad, batimétricas o isobatas en el caso de que se encuentren en fondos lacustres o marinos. Son curvas que unen los puntos de igual cota del terreno, resultantes de la intersección de éste con una serie de planos horizontales separados entre sí por una equidistancia que es función de variables tales como la escala del plano, las diferencias de altitud comprendidas en el mismo y, por supuesto, del detalle deseado.

10.1. Relieve submarino

Los primeros mapas donde se definía el relieve submarino por medio de curvas de nivel de igual profundidad o isobatas, aunque desgraciadamente en la actualidad no existe constancia de los tres primeros, son un mapa manuscrito de **Pieter Bruinss**, datado en 1584, que muestra una línea a siete pies de profundidad, con la inscripción "Het Spaarne", cerca de Haarlem. Más tarde, en Rotterdam, en 1697, **Pierre Ancelin** levantó un mapa manuscrito del río Meuse mostrando su lecho con isobatas de 5 pies de equidistancia. Posteriormente, en 1725, fue **Luigi de Marsigli** quien publicó la obra "Histoire physique de la mer", en la que adjuntaba la "Carte du Golfe de Lion" representada por isobatas.

Nicolás Samuelz Cruquius (1678-1754), representó en un mapa las formas y los accidentes del lecho de los ríos Merwede y Meuse, en una sección próxima al estuario de los ríos Maas y Waal, antes de desembocar en el Mar Norte, mediante una línea continua que contenía todas las sondas de igual profundidad obtenidas durante la marea baja de julio de



17. Plano "arbitrario" de Du Carla y Dupain-Triel.

1729. **Melchior Bolstra** (1704-1776) fue quien las transcribió sobre un mapa en 1730, siendo publicado ese mismo año, a escala 1:10.000, en Leiden (fig. 16).

La misma idea la puso en práctica el célebre Geógrafo e Hidrógrafo francés **Philippe Buache** (1700-1764), quien representó en un mapa por medio de estas curvas, en 1737, el fondo y los taludes sumergidos del Canal de la Mancha y una parte del norte de Alemania. Buache expuso este método ante la Academia de Ciencias de París en 1737, 1752 y 1771, publicándolo, en 1752, en la revista de la Academia "Histoire de l'Académie Royale des Sciences" bajo el título *Essai de Géographie Phisique*. La exposición dedicaba un apartado a la representación del *Canal de la Mancha* y el *Paso de Calais*, del que aportaba el plano y el perfil longitudinal que ya había presentado en la Academia el día 25 de Mayo de 1737.

10.2. Relieve terrestre

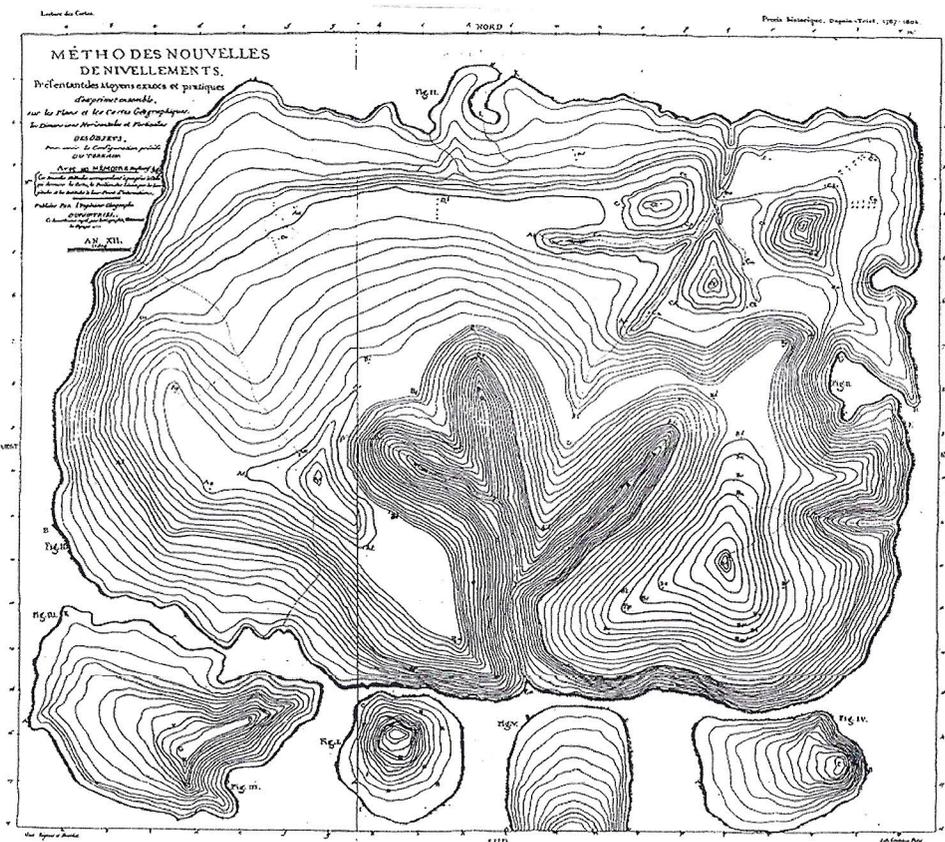
Una vez empleado, explicado y aceptado este sistema para representar el relieve de los fondos marinos, se planteó el reto de implantarlo en la superficie terrestre, principalmente en las montañas. Fue **Marcellín Du Carla-Bonifas** (1738-1816) quién, en la sesión de la Academia de Ciencias de París celebrada el día 4 de Mayo de 1771, expuso sus investigaciones sobre el tema presentando la correspondiente Memoria en la que explicaba los trabajos que había realizado en Ginebra en 1765 y que, esencialmente, consistían en su idea de representar las montañas en los mapas por medio de curvas de nivel. Método que fue publicado en 1780, con la ayu-

da del ingeniero geógrafo y censor real para la Geografía **Jean-Louis Dupain-Triel** (1722-1805), con el título *Méthode nouvelle pour exprimer rigoureusement sur les cartes terrestres et marines les hauteurs et les configurations du terrain*. En 1782 se reeditó con el nuevo título *Expression des nivellements ou méthode nouvelle pour marquer rigoureusement sur les cartes terrestres et marines les hauteurs et les configurations du terrain*.

El método lo desarrolla basándose en un mapa, que él mismo califica de

arbitrario, compuesto por cuatro islas numeradas, I, II, III y IV, (fig. 17).

Variantes del sistema de las líneas de nivel que se introducen en los planos con objeto de conseguir un mejor efecto plástico, una mayor percepción de relieve, son la difuminación mediante la aplicación de la litografía (Senefelder, 1769) y las tintas hipsométricas (Adolf Stieler, Justus Perthes, von Hauslab, Emil von Sydow, Peucker, Imhof, etc.), y combinaciones binarias o ternarias de los diferentes sistemas expuestos.





11 / CAPEL, HORACIO. "Sobre ciencia hispana, ciencia criolla y otras ciencias europeas". *Asclepio, Revista de Historia de la Medicina y de las Ciencias*. Volumen XXXIX, fascículo 2. C.S.I.C., Madrid, 1987, pp. 317-336.

12 / Véase la bibliografía reciente de autores como Horacio Capel, José Luis Peset, Antonio Lafuente y Manuel Selles, entre otros.

13 / PALADINI CUADRADO, ÁNGEL. "Sobre la génesis de los Portulanos". *Boletín de Información del Servicio Geográfico del Ejército*. Nº 76. 2º Semestre. Madrid. 1993.

10.3. Mapas nacionales.

Las curvas de nivel tardaron en aplicarse a la topografía terrestre, especialmente por la dificultad de obtener suficientes puntos acotados que permitiesen su dibujo, y hasta 1869 no se emplearon en un mapa nacional, siendo el primero el de Austria, a escala 1:25.000. Les siguieron la Carta Sigfried suiza, publicada, a escalas 1:25.000 y 1:50.000, a partir de 1870; el mapa inglés del Ordnance Survey, a escala 1:63.360, en 1872; y el Mapa Topográfico Nacional de España, a escala 1:50.000, de 1875, levantado bajo la dirección del Coronel de Ingenieros Ibáñez e Ibáñez de Ibero, creador y primer Director del Instituto Geográfico, con denominaciones posteriores de Instituto Geográfico y Estadístico, Instituto Geográfico y Catastral e Instituto Geográfico Nacional en la actualidad.

11. Conclusiones

Una de las hipótesis de partida, quizás un tanto reivindicativa para la propia estima de la ciencia española, era comprobar las diversas aportaciones que, en este campo de la representación de la orografía, se hicieron en nuestro país. Según el Prof. Horacio Capel, el problema más grave de la ciencia hispana es su falta de "institucionalización" 11. Coincidimos con él en que ese factor fue determinante en cuanto a la falta de instituciones y al atípico desarrollo de las que existieron, si se compara con sus equivalentes inglesas y francesas. Este elemento y la ausencia, durante años, de estudios sobre nuestras aportaciones científicas llevaron a muchos historiado-

res propios y foráneos a la falsa conclusión de que el mundo hispánico había sido claramente inferior y, aún, ajeno al desarrollo científico europeo en los siglos XVIII y XIX.

El impulso que han recibido en nuestro país los estudios relacionados con la ciencia hispánica moderna, demuestra, de forma cada vez más fehaciente, la falsedad de aquella creencia, como era lógico deducir de nuestra brillante historia pasada y de la magnitud de los retos científicos y tecnológicos que España debió resolver con su expansión ultramarina a lo largo, precisamente, de la Edad Moderna. Nuestros ancestrales complejos de inferioridad respecto a Europa y la incapacidad para estudiar nuestras aportaciones al desarrollo de la ciencia, hicieron posible que este error histórico se asentara en la cultura universal como una verdad indiscutible, teoría que hoy, gracias a estudios consistentes, está siendo desmontada eficazmente 12.

La primera aportación española de gran importancia en el campo de la cartografía son los Portulanos, elaborados en Mallorca y en el reino de Aragón. Sobre el apasionante "mundo" de los portulanos, el Coronel Paladini, con objeto de estudiar la bondad de su representación, efectuó estudios comparativos de cinco portulanos entre sí y con una carta moderna del Mediterráneo, *Northern África* a escala 1/7.500.000. Los resultados fueron los siguientes: "Los portulanos sometidos a comparación estaban igualmente orientados, se superponían bastante bien mediante el cambio de escala correspondiente y, los más resaltante, todos ellos coinci-

dían aceptablemente con el trazado del mapa *Northern África*" 13.

Con posterioridad, aparece la excelente producción dimanante de los Descubrimientos y la Casa de Contratación de Sevilla. Esta escuela languideció y se extinguió lentamente a lo largo del siglo XVII con la proliferación de las cartas grabadas procedentes de los Países Bajos. El XVI fue el siglo de los censos, las encuestas, dotadas de una calidad rara vez alcanzada en la época anterior, y solo superada muy a finales del siglo XVIII. Es un hecho reconocido que, aunque de formación posterior al francés, el Estado español logró en la segunda mitad del siglo XVI una perfección burocrática y un grado de eficacia superior a la administración francesa y muy semejante al de ciertos pequeños estados italianos que, en algunos aspectos, se tomaron como modelos.

El resumen que se puede efectuar de la cartografía ibérica del siglo XVI es la escasez de vestigios directos de producción. La razón principal de este fenómeno se encuentra en el hecho de que los mapas españoles no se imprimieron, al menos en España, por varias razones: el carácter, más bien secreto, de las expediciones americanas, la falta de una tradición del siglo anterior y el hecho de que varios de los centros de impresión más importantes estaban situados en territorios como los alemanes, los italianos y los flamencos, sometidos a la corona de los Habsburgo, de modo que un mapa impreso en Amberes o Milán no se consideraba, en realidad, extranjero. Por esta razón, los mapas verdaderamente españoles son manuscritos, como es el caso del denominado *Atlas de El Escorial* atribui-



do a **Pedro de Esquivel**, levantado de forma similar, mediante procedimientos científicos, al *Mapa de Baviera* de **Apiano** o al *Mapa de Inglaterra* de **Cristopher Saxton**.

En el siglo XVII, se pone de manifiesto la carencia de un mapa general de España que hubo de suplirse con mapas holandeses, ingleses y franceses de escasa precisión. Se levantaron algunos mapas regionales, pero en los tres casos más destacados sus realizadores eran extranjeros: *Mapa de Navarra*, del francés **Sanson d'Abbeville**; *Mapa del Reino de Aragón*, del portugués **Lavanha**, completado con una interesante descripción; y *Mapa del Principado de Cataluña*, delineado en 1687 por **Ambrosio Borsano**, ingeniero militar italiano al servicio de la monarquía española. Este siglo XVII puede ser considerado como un periodo de transición, durante el cual se perfeccionan y complementan las realizaciones de la nueva cartografía, apareciendo al final del mismo las primeras innovaciones de la cartografía científica contemporánea, que se afirman a lo largo del siglo XVIII y se desarrollan en el siglo XIX.

Es en este contexto científico cuando se produce un hecho trascendental en Francia, que da origen a una nueva revolución de la cartografía al convertirse en el primer país que promueve un levantamiento topográfico de su territorio a fin de conseguir un mapa que respondiese a la realidad. Aunque su realización se alcanza en el siglo XVIII, las bases se pusieron en el XVII, cuando Colbert, en 1666, orientó el interés de los científicos en esa dirección, creando para ello la Academia de Ciencias de París, auténtico foco de saber astronómico y ge-

odésico que convirtió a Francia en pionera de esas técnicas.

Por el contrario, en España la falta de una cultura científica se hizo sentir por doquier y en el desgraciado reinado de Carlos II surgió un estado de opinión llamado de los novatores o innovadores, que intentó, con distinto éxito, reducir distancias con Europa. La nueva dinastía de los Borbones, una vez que se hubo consolidado, llevó a cabo una loable obra científica y cultural, creando instituciones civiles y militares que, medio siglo después, comenzaron a dar sus frutos y a situar a España a un nivel comparable al del resto de Europa. En este contexto, marcaron un hito las siguientes personas y sus correspondientes obras: La participación de **Jorge Juan** y **Antonio de Ulloa** en la medición de un grado de arco de meridiano (la publicación en 1748 de la obra *Observaciones astronómicas y físicas*, escrita por ambos marinos a su regreso a España, puede considerarse el punto de arranque de nuestra incorporación al movimiento científico contemporáneo); **Vicente Tofiño** y **José Varela y Ulloa**, levantan el *Atlas Marítimo Español*, 1783-1789, primer producto cartográfico español realizado con medios oficiales y con un carácter científico (constituye el trabajo más perfecto de la cartografía del siglo XVIII, mantuvo su vigencia hasta bien entrado el siglo XX, y obtuvieron un éxito inmediato en toda Europa como lo demuestran las numerosas ediciones que se hicieron en Francia e Inglaterra); **Alejandro Malaspina** y **José Bustamante** y **Guerra** y su expedición, (1789-1794), que representa y reúne los ideales intelectuales, políticos y científicos de nuestra tardía ilustración,

culminando, con ella, la última gran expansión marítima española de la Edad Moderna.

Las curvas de nivel, sistema por excelencia para la representación geométrica de las superficies terrestres y marítimas, no se emplearon hasta 1869 en un mapa nacional, siendo el primero el *Mapa de Austria*, a escala 1:25.000. Les siguieron la *Carta Sigfried* de Suiza, publicada, a escalas 1:25.000 y 1:50.000, a partir de 1870; el *Mapa de Inglaterra del Ordnance Survey*, a escala 1:63.360, en 1872; y el *Mapa Topográfico Nacional de España*, a escala 1:50.000, de 1875.

Se constata, por tanto, la importante labor desarrollada en España en el campo de la representación del territorio. Por otra parte, hay que resaltar el hecho de que por las fechas en que se iniciaron los levantamientos para elaborar los mapas nacionales por curvas de nivel, España se había incorporado al grupo de las naciones que se encontraban en cabeza en el campo de la cartografía.