

# URDANETA ¿CIENTÍFICO?

Federico BAEZA FERNÁNDEZ DE ROTA  
Capitán de navío Ingeniero (R)

Urdaneta, ¿científico? ¿Por qué este título? Quizás sorprendente, o al menos singular.

Cualquier lector medianamente instruido y conocedor de este insigne personaje, Urdaneta, tendrá derecho a pensar «este capitán de navío de la Armada, no está en la realidad o está deslumbrado por la brillante personalidad de este español de Guipúzcoa. ¿Urdaneta científico? Desde luego parece un disparate, al menos con la concepción de científico que tenemos en la actualidad.

Recuerdo que hace ya algunos meses, durante una Junta Facultativa del Instituto de Historia y Cultura Naval, donde además de hablar sobre los temas pendientes de la Revista de Historia Naval, que tengo la suerte y el honor de dirigir, se fijan las Jornadas temáticas y ciclos de conferencias del Instituto; se decidió que uno de los temas del ciclo Urdaneta, que nos ocupa, tratara sobre Urdaneta científico. La conferencia se me adjudicó, y después del normal regocijo de los componentes de la Junta al «encasquetar» una conferencia, me puse a buscar, a investigar sobre el tema. Después de un mes de intenso estudio, de intensa búsqueda,... no tuve más remedio que pensar «Federico ¡qué amigos tienes!» Pasó el tiempo y aunque muy satisfecho con la búsqueda de este apasionante tema, llegué a una conclusión implacable ¡nunca había visto a alguien gastar tantas energías en investigar sobre algo... para no encontrar nada!

Desde luego Andrés de Urdaneta no fue un científico... ¿o sí?

El Instituto intentó dar a la conferencia un matiz algo distinto: «el aspecto científico en la época de Urdaneta» o algo similar, pero como a pesar de mi infructuosa búsqueda seguía gustándome el título primitivo *Urdaneta, científico*, al final, como puede constatarse ha quedado este *Urdaneta ¿científico?*, que no es, como comprobarán si siguen con esta lectura, un disparate total. Debo resaltar para reforzar en alguna medida esta tozudez mía por mantener el título, que en algún texto aparece la palabra científico y hasta la de sabio para referirse a este excepcional personaje. Así el Consejo de Indias a la vuelta de su viaje que inicia con Loaysa y Juan Sebastián de Elcano dice de él «era sabio y lo sabía muy bien dar a entender, paso a paso, como lo vio».

Quiero añadir, antes de dar por finalizada esta introducción, que Urdaneta fue un hombre fundamentalmente curioso, culto, un hombre del Renacimiento, del final del Renacimiento, pero del Renacimiento.

Como imaginan, no voy a hablarles casi nada de Urdaneta, y sí de las ciencias relacionadas con la vida de Urdaneta, ciencias náuticas, en el periodo que le tocó vivir (1508-1568).

Hablaré en 6 capítulos, algunos no del todo diferenciados, sobre las ciencias en el siglo XVI; astronomía y cosmografía desde la Antigüedad hasta ese siglo XVI; las ciencias náuticas en la época de Urdaneta; breve resumen del cálculo de la situación por observación astronómica en la actualidad, algo sobre el libro *Regimiento de navegación* de Pedro de Medina (1552); finalizando con una serie de conjeturas o misceláneas sobre nuestro personaje, no alejadas de nuestro tema científico.

## La ciencia o las ciencias en el siglo XVI

La palabra ciencia deriva del latín *scientia*, que equivale al griego *episteme*.

La definición clásica es «cognitio certa per causas» (conocimiento cierto por sus causas).

Hay cierta ambigüedad en el empleo actual de esta palabra, puesto que no todos la utilizan para referirse a los mismos campos:

Objetivamente, la ciencia es «un conjunto de proposiciones estructuradas lógicamente», es un sistema. Subjetivamente, es una capacidad, una disposición o hábito de nuestro intelecto.

Normalmente se denomina «ciencia» a las disciplinas que estudian la naturaleza, sea para obtener conocimiento de la vida (Biología); conocimiento de los cambios de la materia (Física); de las propiedades específicas de las sustancias (Química), también del ser en cuanto tal (Ontología), de nuestro saber de Dios (Teología)...

La ciencia busca proposiciones generales; por esta razón Aristóteles excluyó a la Historia de la lista de ciencias.

Actualmente se acepta como ciencia «cualquier saber, riguroso y metódico». Es decir: se suele restringir la palabra ciencia a las «ciencias empíricas», pero incluyendo la filosofía, la teología, las matemáticas y la historia (pese a Aristóteles). Al menos esto piensan en general los anglosajones.

Esta restricción del término ciencia se debe a varios factores: tradición positivista (método empírico), criterios lógicos, simple convención, o una combinación de estos tres factores.

Los alemanes distinguen dos tipos de ciencia: la ciencia del espíritu (filosofía, historia, teología, etc.) y la ciencia de la naturaleza (la de los puristas ingleses). De todas formas se requiere en la ciencia «un conocimiento riguroso, metódico y organizado». La matemática y la lógica se incluyen en un tercer tipo de ciencia; la formal, porque sus objetos son meras formalidades, o entes de razón.

En la bibliografía castellana sobre ciencia confluyen las ideas anglosajonas, alemanas y las de tradición escolástica, por esta razón en la época que estamos tratando (siglo XVI) la Historia no estaba considerada como ciencia.

Esta conferencia al titularla *Urdaneta ¿científico?* pretende hablarles de ciencia, es decir, de ciencias relacionadas con Urdaneta en su tiempo, sin meterme en muchas profundidades que la alargarían de forma imprevisible.

De todas formas y hablando de «Historia de la ciencia», la actualidad ha rectificado la perspectiva que se tenía de los distintos periodos fundamentales: ciencia oriental, ciencia griega y ciencia árabe.

En la época que estudiamos, prevalecía la idea (idea que en realidad prevaleció hasta el siglo XIX) de que en lo relativo a la ciencia, sólo podía cotizarse la posición griega. J.M<sup>a</sup> Millás dice, y corrobora el insigne Juan Vernet, que «la ciencia era un fruto excelso y exclusivo del espíritu griego clásico y de su auténtica tradición inaugurada en la Europa renacentista». Según esto, la postura griega y el quehacer científico eran dos conceptos reversibles. Cabía hablar del «milagro griego».

Hoy día, gracias al avance de la Egiptología y la Asiriología podemos juzgar el patrimonio científico de estas antiguas culturas que precedieron en algunos milenios la época del florecimiento griego.

Según José M<sup>a</sup> López Piñero «en la España del siglo XVI, como en el resto de sociedades europeas de la época, no hubo institucionalización de la actividad científica». Es decir, que esta actividad, la científica, estaba constituida por un conjunto de tareas en extremo heterogéneas. Por eso resulta difícil objetivar su integración en la vida histórica real, y no digamos si se trata de exponerla en términos generales.

En resumen: parece necesario partir de la posición social de las personas y grupos que «cultivaron» esas áreas científicas y conocer sus relaciones con:

- Las ocupaciones y profesiones
- Las comunidades urbanas y el mundo rural
- La estratificación social

Para mejor aclarar esto lo vamos a ver a través de cuatro tablas que ofrecen distribuciones muy curiosas desde esos tres tipos de relaciones.

Las tablas, según vemos en la T-1, se refieren a las biografías de 572 «cultivadores de la Ciencia» (¿científicos?) durante los 12 decenios comprendidos entre 1480 y 1600.

Son autores que:

- Publicaron al menos una obra impresa (366)
- Dejaron algún texto manuscrito (178)
- Dejaron huella con alguna aportación técnica (28)

Podemos ver que conforme pasa el tiempo (los decenios) aparece un número mayor de esos «cultivadores».

Decenios	Nº de biografías	%
1481-90	7	1,22
1491-00	14	2,45
1501-10	20	3,50
1511-20	22	3,85
1521-30	39	6,82
1531-40	27	4,72
1541-50	52	9,09
1551-60	68	11,89
1561-70	54	9,44
1571-80	81	4,16
1580-90	83	14,51
1590-00	105	18,36
<b>Total</b>	<b>572</b>	

#### **T-1 DISTRIBUCIÓN POR DECENIOS DE LOS «CULTIVADORES DE LA CIENCIA» EN ESPAÑA (1481-1600)**

La segunda tabla (T-2) nos muestra las dieciséis áreas consideradas científicas y como algunos de esos 572 «científicos» se dedicaron a más de una actividad científica:

- 471 se dedicaron a una sola actividad científica
- 166 se dedicaron a dos actividades científicas
- 48 se dedicaron a tres actividades científicas
- 2 se dedicaron a cuatro actividades científicas

En la tabla no aparece la Historia como actividad o área científica y ya aparecen la Cosmografía y Astrología, la Geografía y el Arte de Navegar, todas ellas relacionadas con la actividad principal de Andrés de Urdaneta.

En cuanto a las 693 dedicaciones «científicas» (471 x 1 + 166 x 2 + 48 x 3 + 2 x 4), la «palma» se la lleva la Medicina con 177 (25%), siendo importante señalar que entre la Cosmografía, la Astrología, el Arte de Navegar y la Geografía suman 220, un 32% del total de las 693.

Áreas científicas	Nº de dicaciones	%
Matemáticas	67	9,67
Cosmografía y Astrología	99	14,29
Filosofía Natural	66	9,52
Geografía	56	8,01
Arte de Navegar	65	9,38
Beneficio de Minerales	25	3,61
Ensayo de Metales	3	0,43
Destilación y Alquimia	7	1,01
Arquitectura e Ingeniería	25	3,61
Arte Militar	26	3,75
Historia Natural	44	6,35
Medicina	177	25,54
Albeitería	9	1,30
Agricultura	9	1,30
Arte de Caballería	9	1,30
Caza	6	0,87
<b>Total</b>	<b>693</b>	

## T-2 DISTRIBUCIÓN POR ÁREAS DE LAS DEDICACIONES DE LOS «CULTIVADORES DE LA CIENCIA» EN ESPAÑA (1481-1600)

La tercera tabla (T-3) es una distribución de los 572 «cultivadores de la Ciencia» (científicos) por sus ocupaciones o profesiones.

Ocupaciones y profesiones	Nº biografías	%
Médicos y cirujanos	188	32,87
Boticarios y albeitaros	18	3,15
Ingenieros, artilleros, arquitectos	28	4,89
Cosmógrafos, marinos, maestros de cartas náuticas	66	11,50
Astrólogos	3	0,52
Mineros	16	2,80
Ensayadores y <i>destiladores</i>	3	0,52
Orfebres, <i>Ullers</i> , sastres, comerciantes, libreros	6	1,04
Profesores universitarios	36	6,29
Maestros y preceptores privados	15	2,61
Miliares, abogados, funcionarios	44	7,69
Clérigos (seculares y regulares)	107	18,70
Nobles con título	10	1,75
No consta	32	5,59
<b>Total</b>	<b>572</b>	

### T-3 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIONES Y PROFESIONES DE LOS «CULTIVADORES DE LA CIENCIA» EN ESPAÑA (1481-1600)

Vemos que:

- Los más «científicos» eran los médicos (188) (33%)
- Después destacan los clérigos (107) (19%)
- Profesores, marinos y nobles sumaban 100 (18,5%)
- Entre militares y cosmógrafos suman 44 (8%)
- Son prácticamente irrelevantes los destiladores, los orfebres, los *ullers*, los sastres y los comerciantes con una sola dedicación cada uno de ellos.

Es importante destacar que «la única ocupación científica que tenía categoría de profesión en el sentido estricto de la palabra era la Medicina»

El resto de ocupaciones de la España del siglo XVI (excepto los pilotos o Navegantes) no alcanzó nivel profesional.

Los cosmógrafos efectuaban una tarea científica que en este siglo XVI adquirió reconocimiento social.

Los maestros de hacer cartas, ligados estrechamente a los cosmógrafos, constituían una actividad artesanal de muy notable tradición en Mallorca.

Por último la cuarta tabla (T-4) nos refleja los lugares de residencia de estos «cultivadores de la ciencia».

Localidades	Nº de residencias	%
Sevilla	73	14,90
Valencia	67	13,67
Madrid	54	11,02
Salamanca	49	10,00
Zaragoza	34	6,94
Alcalá	25	5,10
Toledo	23	4,70
Barcelona	22	4,49
Valladolid	20	4,08
Burgos	12	2,45
Otras	193	23,65

#### **T-4 LOCALIDADES EN LAS QUE RESIDIERON LOS «CULTIVADORES DE LA CIENCIA» EN ESPAÑA (1481-1600)**

En ella vemos que entre las ciudades de Sevilla, Valencia, Madrid y Salamanca acogían a la mitad de estos científicos.

Como final de este capítulo dedicado a la Ciencia o Ciencias en el siglo XVI debo señalar que el «Arte de Navegar» se encontraba encuadrado entre el grupo de saberes «teóricos» (Matemáticas, Cosmografía y Astrología, Geografía, Historia Natural...) y el grupo de saberes «prácticos» (Medicina, Agricultura, Albeitería, Beneficio de materiales, Arte militar, Ingeniería...).

### **La Astronomía desde la Antigüedad hasta el siglo XVI**

El saber astronómico, como afirma López Piñero, es el fundamento de la Ciencia náutica: «Determinación de la línea que sigue el barco, o derrota, por la mar y definición en un momento dado de la posición de la embarcación (latitud y longitud) en la carta náutica (situación)»

El saber astronómico base para la navegación en los siglos del Renacimiento (XIV, XV y XVI) procedía de las teorías que sobre esta materia habían sido formuladas en la «Antigüedad griega y helenística». Hay que reseñar, no obstante, que bastantes siglos antes en las civilizaciones babilónicas, en la caldea y la egipcia fundamentalmente, ya se practicaban metódicamente la Astronomía / Astrología.

Los babilonios, ya desde el siglo XX antes de Jesucristo, al ser su religión de carácter astral, observaban sistemáticamente los astros, el movimiento de planetas como Venus, y contaban con ciclos de años para predecir eclipses. El famoso «ciclo de Mentón» del calendario lunar se cree de ascendencia babilónica.

Una tabla lunar babilónica, la K-90, registra la progresión de la parte iluminada de la Luna durante 30 días. Lo más sorprendente de esto es que durante los 5 primeros días se reflejan unas cantidades que forman una progresión geométrica, mientras que los restantes diez días (el medio ciclo son 15 días) forman una progresión aritmética y... ¡estas progresiones se ajustan a la realidad!

Otro ejemplo de la influencia de la astronomía caldea, a través de la alejandrina, y hasta la época actual, es el hecho de que allí nació la división sexagesimal del círculo.

Además se sabe que:

- Observaban los cinco planetas conocidos entonces
- Observaban la salida y ocaso de los astros
- Observaban los eclipses de sol y luna, y hasta algún crítico moderno atribuye a los astrónomos caldeos (yo creo que con poco fundamento) y no a Hiparco el gran descubrimiento de la «precesión de los Equinoccios»

Pero sigamos con las teorías griegas y helenísticas, bases del saber astronómico para la navegación en los siglos del Renacimiento.

Estas teorías se fundamentaban en las tendencias de dos grandes astrónomos del siglo IV a.C.: Eudoxo de Cnido y Heráclides de Ponto

Eudoxo de Cnido ideó la «teoría de las esferas homocéntricas», imaginándose a la Tierra fija como centro de ellas. Esta teoría fue, después, modificada por Calipo y Aristóteles, introduciéndola en sus conceptos físicos y metafísicos.

Heráclides de Ponto, inició otra línea basada en la idea pitagoriana de que la Tierra es móvil.

En el siglo siguiente (III a.C.), Aristarco de Samos siguió aportando teorías y creó un sistema heliocéntrico con la Tierra efectuando sus movimientos de traslación y rotación, teoría que no prosperó por estar en contra de creencias religiosas y filosóficas así como por las dificultades científicas que sugería.

Ya en el siglo II a.C., Hiparco de Nicea, según varios autores el astrónomo más importante anterior a Ptolomeo, desarrolló el «sistema geocéntrico», sustituyendo el compli-



cado conjunto de esferas homocéntricas por otro, no menos complicado de epiciclos y excéntricas.

Es difícil conocer, por la poca información que nos ha llegado de estos «padres de la astronomía», el grado de originalidad de sus teorías, pero parece claro que corresponde a Hiparco el descubrimiento de la «precesión de los equinoccios»

Hiparco al medir cartas estelares dibujadas por Aristilo dos siglos antes que él, en el año 340 a.C., comprobó hacia el 150 a.C. un desplazamiento angular de las estrellas con respecto al «punto vernal», punto que se había escogido como origen de coordenadas celestes (equinoccio de primavera) y que es el punto en la esfera celeste prolongación de la recta de corte de los planos de la eclíptica y del ecuador o línea equinoccial. El astrónomo de Nicea midió este desfase o retraso de este punto vernal y lo calculó con una precisión asombrosa. Otra cosa muy distinta era saber el por qué se producía este curioso fenómeno.

La precesión de los equinoccios la produce el movimiento del polo norte celeste al describir un círculo completo alrededor del polo norte de la eclíptica, círculo que se completa en 25.780 años, según los cálculos actuales, con lo que cada año se produce un desfase de 50,25 segundos de arco. Por esta razón Hiparco en esos 190 años que van desde las observaciones de Aristilo a las suyas reflejó un desfase de casi 3° (2° 55'). A este ciclo de 25.780 años se le ha llamado «año platónico».

¿Qué es lo que produce este movimiento circular del polo terrestre o del eje de giro? La contestación a esta pregunta no es sencilla, pero se puede decir que la produce varias razones combinadas.

- La Tierra no es esférica, sino esferoide de revolución (geoide), algo ensanchada por el ecuador y achatada por los polos.
- Al estar el eje de rotación de la Tierra inclinado respecto a la eclíptica, este geoide ofrece al Sol una forma distinta en los 2 hemisferios, superior e inferior, y por tanto la atracción del astro rey sobre la Tierra no es uniforme (leyes de Newton y Kepler ...).
- Esta desigual atracción del Sol genera un par de torsión en el geoide terrestre que combinado con su movimiento de rotación produce la precesión del eje de giro de la Tierra originando, por consiguiente la precesión de los equinoccios. En realidad este movimiento circular del polo de la Tierra no es un círculo perfecto, y está afectado de una oscilación o nutación debido a la atracción conjunta del Sol y Luna. Esta nutación tiene una amplitud de 9,21 segundo de arco y una longitud de onda de 6 minutos de arco.

Hace 200 años al punto vernal se le llamó «punto de Aries» por estar en la zona de la constelación de Aries, pero después de estos más de 2000 años este punto vernal que se ha seguido llamando primer punto de Aries, resulta que pertenece a Piscis por haberse retrasado casi 30° (un signo del Zodiaco). La «Era Piscis» se inició en el siglo I a.C. y finalizará (30° más) en el año 2.000, iniciándose la «Era de Acuario».

Actualmente el eje de giro de la Tierra coincide con la estrella «Alpha Ursae Minoris» o Polar. En cambio hace 5.000 años, hacia el año 3.000 antes de nuestra era, la estrella más cercana al Polo norte era la «Alpha Draconis» o Thuban. Hacia el año 4.000 de nuestra era la estrella del Polo norte será la «Gamma Cephei» (Alrai).

De Hiparco al gran Ptolomeo, Claudio Ptolomeo (siglo I d.C.) transcurren 3 siglos de verdadera «sombra astronómica»

Ptolomeo nos dejó plasmados sus conocimientos y teorías en el *Almagesto* o *Sintaxis matemática*. En esta obra, resume, según López Piñero, «el saber griego anterior, y aunque creó nuevas aportaciones, su verdadero valor fue la conclusión sistemática de la Astronomía antigua que perduró como modelo inatacable a lo largo de la Edad Media».

Ptolomeo, para justificar los movimientos aparentes de la bóveda celeste parte del principio platónico de que «los movimientos de los cuerpos celestes son reales, circulares y uniformes» y utiliza en sus construcciones, no el sistema de Eudoxo (esferas concéntricas), sino el de Hiparco (esferas excéntricas y epiciclos), lo que le permitió afrontar los principales problemas.

No voy a analizar aquí, capítulo a capítulo, este fundamental tratado de Astronomía del astrónomo de Alejandría, pero quiero reseñar que de sus 13 capítulos o libros:

- Su «Teoría del Sol», en el libro I, sigue siendo la de Hiparco, es decir, geocéntrica. «El sol se mueve sobre un círculo en torno a un centro que a su vez lo hace sobre otro círculo cuyo centro es la Tierra». Esto explica, en parte, la desigual duración de las estaciones.
- Su «Teoría de la Luna» de sus libros IV y V es mucho más complicada si cabe y la describe a base de epiciclos y de excéntricas que también emplea para el movimiento de planetas, tanto exteriores, Marte, Júpiter y Saturno, como interiores, Mercurio y Venus, pero con variaciones con un tercer círculo para explicar estos movimientos.
- En su libro VI llega a predecir eclipses.
- En los VII y VIII muestra un catálogo de estrellas australes y expone cómo las posiciones relativas de esas estrellas son fijas.
- Por último los cinco libros finales (IX al XIII) los dedica a las trayectorias de los planetas.

El *Almagesto* fue traducido al árabe por el sirio Johannitius (Hunain Ibn Ishaq) en el siglo IX y del árabe al latín por Gerardo de Crémona, en Toledo en el siglo XII (finales del XI).

Durante la Baja Edad Media y el Renacimiento se tradujeron en Toledo casi todas las obras astronómicas árabes, entre las que destacan las de los sirios Alfragano (Al Fargani) del siglo IX, Albatengnio (Al-Battani), del siglo X y la del hispano-árabe Alpetragio (Al-Bitruji), del siglo XII.

Debo resaltar que según recientes estudios arabistas entre los que se encuentra George Saliba, arabista con cátedra en la Universidad de Columbia, USA, el



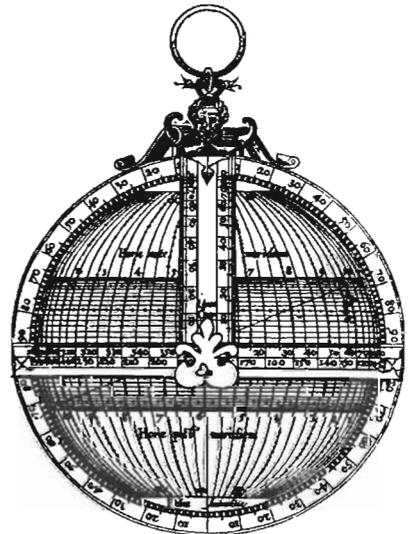
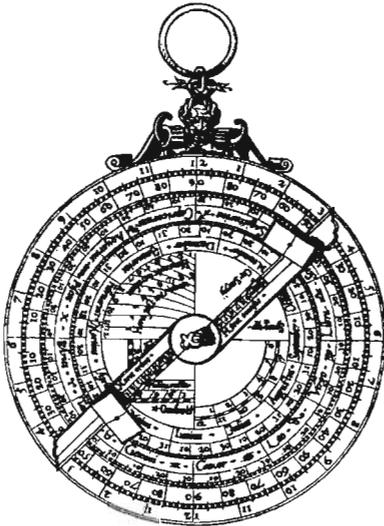
para la navegación renacentista. Trata la determinación de la Latitud por observación de la altura del Sol sobre el Horizonte, y se establecen las «Tablas de declinación solar». También se explica la utilización del astrolabio esférico y plano, del cuadrante, y de diversos aparatos para medir tiempo y hora.

Nuestro almirante Julio Guillén Tato afirmaría siete siglos más tarde: «Los libros del saber de Astronomía contenían ya todo lo necesario para la navegación astronómica... si la hora del primer meridiano lo hubieran podido obtener» (problema clave de la obtención de las longitudes).

Como vemos la España del siglo XVI era heredera de una brillante tradición ibérica en astronomía práctica, que se mantuvo a lo largo de

toda la Edad Media.

En la transición de los siglos XV al XVI el judío Abraham Zacuto, nacido en Salamanca en 1452 y fallecido en Damasco en 1515, escribió en Salamanca el libro *Hibbur Ha-Gadol (El Gran Tratado)*, y su discípulo José Vecino o Viciño, publicó en Portugal en 1496 un resumen, *Almanch Perpetuum*, que influyó enormemente en la introducción a las observaciones astronómicas en el *Arte de Navegar*.



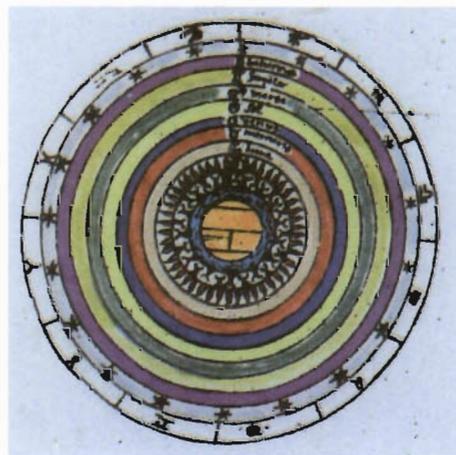
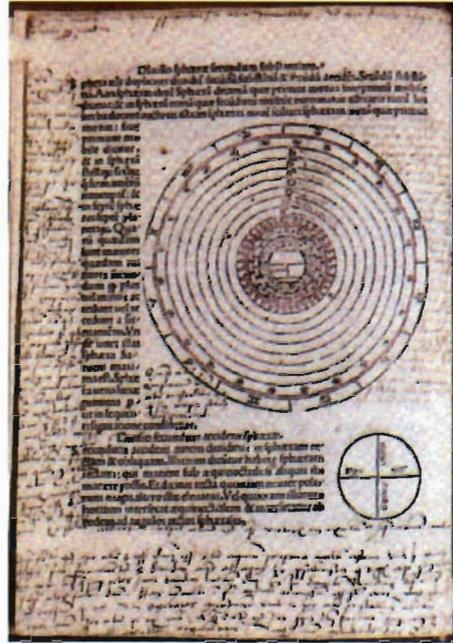
gran Ptolomeo fue rebatido o corregido por autores árabes que escribieron en esa Edad Media. El propio George Saliba en su artículo publicado en junio de 2003 en la revista *Investigación y Ciencia* «La Astronomía griega y la tradición árabe medieval» no deja en demasiado buen lugar al astrónomo alejandrino en su «afán» acertado o no de ensalzar la cultura árabe de esa época medieval.

En el siglo XIII el inglés John of Hollywood (Hohannes de Sacrobosco) simplifica el sistema geocéntrico de Ptolomeo, llegando su obra *Tractatus de Sphaera* hasta las escuelas del siglo XVI.

- «Todo el Universo o Esfera Celeste gira alrededor de la Tierra o Esfera Terrestre, que es el centro inmóvil»
- «En el mundo sublunar (por debajo de la Luna), existen cambios continuos (*generación y corrupción*)»
- «Los 4 elementos que integran la Esfera Sublunar ordenados de dentro a fuera son: la esfera terrestre, la esfera de agua, la esfera de aire y la esfera de fuego».
- «A partir de la Luna, el *Mundo celeste* (Eter) no está sujeto a cambio alguno, excepto al movimiento circular uniforme»

- |           |                            |
|-----------|----------------------------|
| 1ª Esfera | La propia Luna             |
| 2ª Esfera | Mercurio                   |
| 3ª Esfera | Venus                      |
| 4ª Esfera | Sol                        |
| 5ª Esfera | Marte                      |
| 6ª Esfera | Júpiter                    |
| 7ª Esfera | Saturno                    |
| 8ª Esfera | Estrellas fijas            |
| 9ª Esfera | 1º Móvil («Primum movile») |

En este siglo XIII, Alfonso X el Sabio, en su libro *El saber de astronomía* expone ya las teorías astronómicas y las técnicas de observación



Entre los autores españoles de Tablas a comienzos del siglo XVI destaca el sevillano Alfonso de Córdoba que publicó en 1503 unas *Tablas astronómicas* dedicadas a la Reina Isabel y que citará Copérnico en su *Comentariolus*.

Ya en tiempos de Urdaneta y en relación con los instrumentos náuticos puedo señalar, entre otras, tres aportaciones españolas:

*Manual sobre el uso del Astrolabio* (1526), del astrónomo valenciano Juan Martín Población, que hizo «furor» en Europa durante más de un siglo.

*Monografía sobre el ecuador planetario* (1526), del sacerdote aragonés Francisco Zarzoso.

*Astrolabio universal* (1550) de Juan de Rojas Sarmiento, que dio a conocer en Europa la «proyección ortográfica» (plano secante a la esfera donde se representa proyectada una zona del globo en mapa plano)

### Ciencias náuticas en tiempos de Urdaneta

En este apartado intentaré hacer un pequeño «slalom» sobre las ciencias o actividades científicas relacionadas con la actividad fundamental de Andrés de Urdaneta; es decir, trataré de cosmografía, arte de navegación y algo de cartografía.

Después del gran avance científico realizado en la corte del rey Alfonso X el Sabio, de Castilla, sobre todo con la serie de traducciones de obras astronómicas y astrológicas del árabe al romance castellano, se puede observar un



cierto «cansancio científico» agravado por las luchas dinásticas que dieron el triunfo a los Trastámara.

En la Península quizás sólo en la Barcelona del rey Pedro IV, el Ceremonioso, se nota un cierto esfuerzo para continuar esta tradición cultural y científica. Durante su reinado (1336-1387) se traducen numerosas obras científicas, médicas, astronómicas y astrológicas, y sobre todo se realizan numerosas observaciones astronómicas por medio de astrolabios y cuadrantes. De esta manera pudieron ser redactadas las famosas *Tablas astronómicas del rey Pedro IV, el Ceremonioso*.

Estas Tablas representan en la 2ª mitad del siglo XVI lo que habían sido las tablas alfonsinas del rey sabio en el siglo anterior.

La obra en trece cánones o capítulos es un verdadero almanaque en que se hallan:

- La posición verdadera del Sol, Luna y planetas durante los años que van de 1360 a 1433.
- Conversión de Eras
- Movimiento medio y verdadero de planetas
- Ecuación del movimiento directo y retrógrado de planetas
- Ecuación del movimiento de ascenso y descenso de estrellas.
- Cambio de horas diurnas y nocturnas
- Eclipses.

Como anteriormente reseñé, y precisamente después de estos esfuerzos del rey ceremonioso, vino el gran paréntesis del siglo XVI, y no sólo en las ciencias náuticas. Sólo se salvaron, y ya en el declinar del siglo, la cosmografía cartográfica y la técnica náutica, de cuyos avances sacó gran partido el gran Cristóbal Colón.



La Cartografía atlántica nació de la mediterránea, es decir, las primeras cartas náuticas de América presuponen una vieja tradición de mapas portulanos de las escuelas del Mediterráneo occidental, sobre todo mallorquinas e italianas (Pisa, Génova, Barcelona y Mallorca).

El portulano, más que representar un mapa plano, aspira a ofrecer un registro de puertos, direcciones, vientos, rumbos y rutas en la costa,... y hasta a veces, rumbos y rutas en el interior para provecho de las caravanas.

Los cartógrafos mallorquines de principios del siglo xv fueron los maestros de los portugueses cuando D. Enrique, el Navegante, empezó con su sueño de circunnavegar el continente africano. Don Enrique, Sagres 1420, se apoyó en el gran maestre Jacome de Mallorca, converso judío mallorquín Jafuda Cresques, hijo de Abraham Cresques que envió su célebre mapamundi al rey Juan I de Aragón y éste se lo ofreció como regalo al rey Carlos V de Francia.

De la célebre carta de Juan de la Cosa, sobre la que algunos autores atribuyen a Colón con la ayuda del marino cántabro, sólo quiero resaltar que constituye la joya o una de las joyas de nuestro Museo Naval de Madrid. Según J.M<sup>a</sup> Millás, la carta «nos revela toda una irradiación de la técnica de los viejos portulanos mallorquines sobre la nueva cartografía americana». Refleja resultados de los descubrimientos de Colón, Ojeda, Vasco de Gama, Cabral, Pinzón y Caboto. Cuba aparece identificada como una isla, en contra de lo que creía Colón y dibuja el contorno de África de forma precisa y espectacular. No es una carta plana, ni un mapa de América, sino un planisferio donde se han integrado esos nuevos descubrimientos. No se refleja nada de Asia pues no en vano tanto Colón como de la Cosa y V. Yáñez Pinzón creían que el nuevo continente descubierto era el extremo oriental de Asia y por eso vemos escrita la palabra «oriente» en el extremo occidental de la carta.

Fue dibujada sobre pergamino formando un rectángulo de aproximadamente un metro por metro y medio, siendo su eje el Trópico de Cáncer.

Debajo de la imagen de San Cristóbal se puede leer la inscripción: «Juan de la Cosa la fizo en el Puerto de Santa María en anno de 1500». Lo cual demuestra, a pesar de la influencia mallorquina anterior, que este mapa es una joya admirable de la «Escuela de Cartografía Andaluza», escuela que siguió a la Mallorquina y que florecía ya desde el Puerto de Santa María a Palos de Moguer.

Con los descubrimientos españoles en el Nuevo Mundo creció en la Península el entusiasmo por los estudios náuticos y cosmográficos, e incluso filósofos y literatos o filólogos hicieron sus «pinitos» en esta rama de las ciencias. De esta manera:

- El filósofo Alfonso de Córdoba realizó algunas correcciones al *Almanaque perpetuo* de Zacuto y compuso unas *Tablas astronómicas* que regaló a la reina Isabel en 1503.
- El gran filósofo y humanista Antonio de Nebrija se preocupó de algunas cuestiones cosmográficas en su *Introductorium Cosmographiae*, y redactó unas tablas de días y horas en varias ciudades españolas y euro-



peas. Calculó, también las millas correspondientes a un grado de meridiano, obteniendo un valor de 62,5 millas.

— Por último, Miguel Servet editó y apostilló el texto de Geografía de Ptolomeo.

Introduciéndonos ya en la «ciencia» más afín a Urdaneta, es decir, el Arte de marear o de navegar, que fue alcanzando gran interés entre nuestros cosmógrafos en este siglo XVI, me gustaría resaltar lo siguiente: El Arte de navegar se desarrolló en gran medida por los problemas técnicos que planteaba la reciente navegación de altura, al no poderse apoyar en la visión de la costa cercana. El término «navegación astronómica» también produce confusión, y así dice García Franco: «en ella (la navegación astronómica) los métodos de cálculo para obtener “el punto” (situación) se auxilian de tablas logarítmicas y

especiales, buenos sextantes y aceptables cronómetros», para acabar: «¡la navegación astronómica no corresponde a esta época (siglo XVI)!». Yo aquí discrepo del singular astrónomo, pues aunque con métodos de cálculo rudimentarios, con tablas primitivas, astrolabios y no sextantes, y sin cronómetros para ser capaces de obtener las longitudes; sí creo se puede hablar en el siglo XVI de navegación astronómica.

El Arte de navegar del siglo XVI fue la etapa preparatoria de la náutica moderna, en la que la navegación comenzó a apoyarse en conocimientos científicos y disponer de instrumentos fiables. Estas prácticas científicas se basaban en conocimientos empíricos y algún fundamento técnico:

- Uso de brújula
- Manejo de cartas marinas
- Observaciones astronómicas.

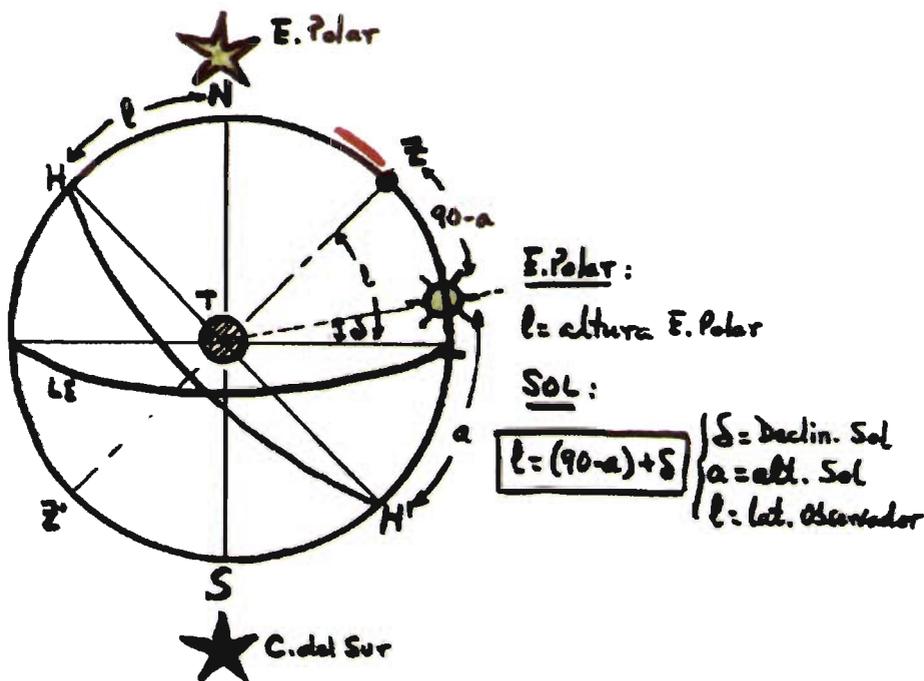
La brújula, de incierto origen asiático o europeo, fue en sus comienzos una barra de hierro «tocada» con la «piedra imán», que por medio de un soporte flotaba en el agua de una vasija. Después pasó a ser una «aguja» con eje de giro colocada en una caja con la «rosa de los vientos», para finalmente apoyarse en una suspensión Cardano o cardán.

Las cartas marinas ya eran utilizadas en el Mediterráneo, no en vano las galeras de la Corona de Aragón llevaban en sus naves dos cartas desde 1359. Estas cartas eran portulanos o «cartas de compás», que representaban, como anteriormente reseñé, detalles de las costas, sus distancias con profusión de rumbos y radios de rosas náuticas, pero sin reflejar coordenadas geográficas.

La observación astronómica fue la novedad más importante pues resolvió el problema del cálculo de las latitudes, ya que el problema capital del cálculo de las longitudes no tuvo solución en este siglo XVI a pesar de la gran cantidad de esfuerzos que se le dedicaron.

Desde la antigüedad se sabía que la altura del Polo celeste sobre el horizonte equivalía a la latitud del lugar. Para medir dicha altura había que recurrir a la observación de las estrellas cercanas al Polo; es decir, a la «Polar» en el hemisferio norte y a la «Cruz del Sur» en el hemisferio sur (cuando fue descubierta). Es muy curioso observar las «artimañas» inteligentísimas de que se valían estos navegantes antiguos para identificar el Polo Norte cuando navegando cerca del Ecuador no podían observar la estrella Polar.

Sin embargo estas dos estrellas (Polar y Cruz del Sur), sólo podían ser observadas de noche, al crepúsculo, por lo que la solución ¡decisiva solución! Que la brillante idea de «obtener la latitud del observador mediante la medición de la altura meridiana del Sol» es decir del Sol al cortar el meridiano del lugar. Para ello resultaba del todo necesario saber en qué lugar de la esfera celeste (eclíptica) estaba el sol en cada momento, es decir, saber en cada



momento del día el valor de la «declinación solar» o arco de la esfera celeste entre el ecuador o línea equinoccial y el Sol, medido por el círculo horario (meridiano en la esfera terrestre). En otras palabras: se necesitaba poseer unas tablas de declinación del Sol, y éstas, como veremos, ya se poseían.

La astronomía práctica, que sirvió de base, procedía de las innumerables observaciones astronómicas de los astros efectuadas en la península Ibérica durante la baja Edad Media y en particular las desarrolladas en Portugal en torno a Juan II a partir de 1480. Después, y como ya se ha dicho, Abraham Zacuto y Viciño con sus «regimientos» popularizaron las tablas de declinación solar. España comenzó su extraordinaria aportación a partir del descubrimiento de América, llegando Colón a hacer observaciones sobre la sorprendente, entonces, declinación magnética.

La Casa de Contratación de Sevilla, —creando en 1508 el cargo de piloto mayor para censurar cartas y examinar y graduar a nuevos pilotos, así como para evaluar los instrumentos necesarios en las navegaciones—, colaboró decisivamente en este auge del arte de navegar. Después el puesto de cosmógrafo mayor (1523) y la Cátedra de Navegación y Cosmografía (1552) redondearon el trabajo.

De entre los españoles, cosmógrafos o simplemente maestros en este arte cabe señalar:

El bachiller Martín Fernández de Enciso  
Francisco Falero  
Alonso de Chaves  
Alonso de Santa Cruz  
Pedro de Medina  
Martín Cortés

A éstos debo añadir el portugués Pedro Nunes que con su *Tratado de Sphera* (1537) y su *De arte atque ratione naveganti* (1546) contribuyó en gran medida al avance de las técnicas de navegación astronómica.

Fernández de Enciso, con su *Summa de Geographia* (1519) fue el primero que trata de manera exhaustiva el Arte de navegar. Sevillano, pasó casi toda su vida en el Nuevo Mundo, explorando y colonizando la América Central. La parte geográfica de su *Summa* describe la costa americana en forma de derrotero. La parte dedicada al arte de navegar contiene un breve resumen de cosmografía, tablas de declinación solar, reglas de cálculo de la latitud por altura del Sol y estrella Polar, y navegación de estima, astrolabio, cuadrante y carta de marear. La obra se beneficia tanto de la tradición de autores medievales como de las experiencias náuticas de su tiempo.

Francisco Falero (o Faleiro), portugués al servicio del rey de España desde 1519, en su *Tratado de Esphera y del Arte de Navegar* (1535) comienza con un compendio de la *Sphera* de Sacrobosco algo elemental, continúa con los mismos temas de Enciso en cuanto a navegación, y añade un capítulo sobre declinación magnética.



Alonso de Chaves, piloto mayor de la Casa de Contratación de Sevilla, escribió un *Quatri Partitu en comographia práctica* o *Espejo de navegantes*, manuscrito que Úrsula Lamb en su *Cosmographers and Pilots of the Spanish Maritime Empire* lo señala como «el manual más antiguo destinado al marino y su instructor». Chaves llegó a utilizar como recurso nemotécnico canciones tradicionales de los hombres de la mar.

Alonso de Santa Cruz, cosmógrafo sevillano de la Casa de Contratación y maestro del emperador Carlos V, estudió las variaciones de la aguja magnética (declinación) y se ocupó del problema de la obtención de la longitud, inventando algunos aparatos para calcularla a partir de la posición de la Luna. Entre otros muchos trabajos estudió la confección de mapas que tuvieran en cuenta la esfericidad de la Tierra.

Pedro de Medina, en su *Arte de Navegar* (1545), que fue muy aceptado y editado en Europa y en su *Regimiento de navegación* (1552), cambió, junto a Martín Cortés, la literatura náutica que había sido editada hasta esos años, superando el nivel de «recetario» práctico o manual escolar, y como dice José María López Piñero: «tanto por la altura científica de su contenido como por su estructura y extensión, sus libros (de ambos) son ya tratados sistemáticos del Arte de navegar».

Su *Arte de Navegar* contiene 8 partes o libros:

- I. Del mundo
- II. De la mar
- III. De los vientos
- IV. De la altura del Sol
- V. De la altura de los Polos
- VI. De las agujas de navegar
- VII. De la Luna
- VIII. De los días del año.

Medina no fue un gran creador científico, e incluso algunas de sus opiniones no fueron acertadas, como por ejemplo sus comentarios sobre la declinación magnética, aunque al final rectificase.

De su *Regimiento de navegación*, hablaré al final de este trabajo.

Martín Cortés, aragonés, en su *Breve compendio de la Sphera y del arte de navegar* (1551) nos habla prácticamente de los mismos temas que Medina, pero incluye unas aportaciones muy originales y acertadas sobre la declinación magnética.

En los textos de todos estos autores se utiliza, como ya hemos visto de pasada, el método que seguimos empleando en la actualidad para precisar los «movimientos aparentes de los astros, es decir, fijar sus posiciones en la esfera celeste mediante un sistema de coordenadas».

- Desde cualquier punto de la Tierra el cielo aparece como una bóveda semiesférica (ya en la antigüedad los astrónomos idearon un «sistema geométrico de dos hemisferios»).
- El hemisferio celeste que podemos ver en cada momento es el situado por encima del horizonte.
- El observador puede considerarse situado en el centro de esa esfera celeste, puesto que la Tierra comparada con esa inmensa esfera celeste es de tamaño casi nulo.
- El plano del horizonte es tangente a la esfera terrestre en el lugar del observador, y la perpendicular a este plano trazado por el observador corta a la esfera celeste en un punto (Z) que llamamos Zenit.
- A la esfera celeste se le aplica el mismo sistema de coordenadas que al globo terrestre. Así hablamos de Polos celestes (N y S), Ecuador celeste o Línea Equinoccial, Paralelos celestes y Meridianos celestes.

- Para indicar un punto de la esfera celeste se utiliza la misma intersección de un meridiano y un paralelo, aunque en astronomía, la latitud es la declinación y la longitud terrestre es la ascensión recta (celeste).

Dicho todo esto, vamos a pasar a «desgranar» aunque no sea con la profundidad adecuada los dos grandes problemas que limitaron el Arte de Navegar durante el siglo XVI de Úrdaneta:

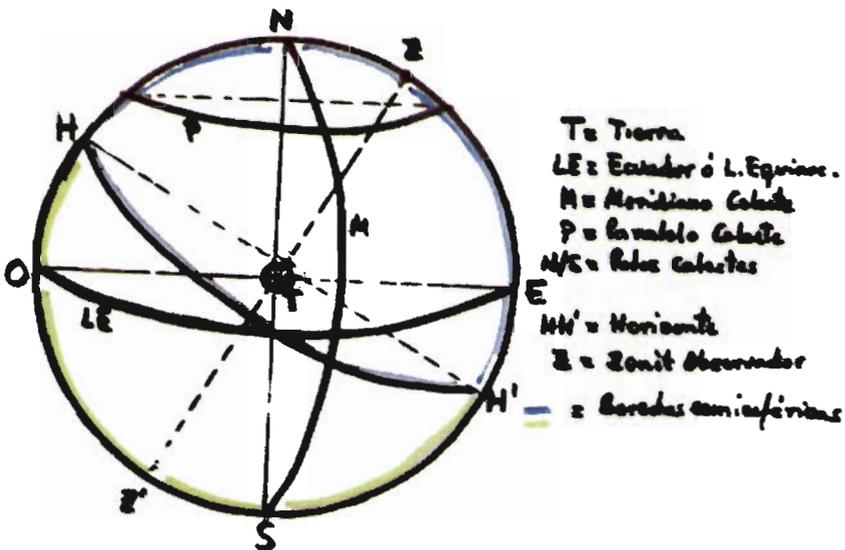
- La declinación magnética
- El cálculo de las longitudes.

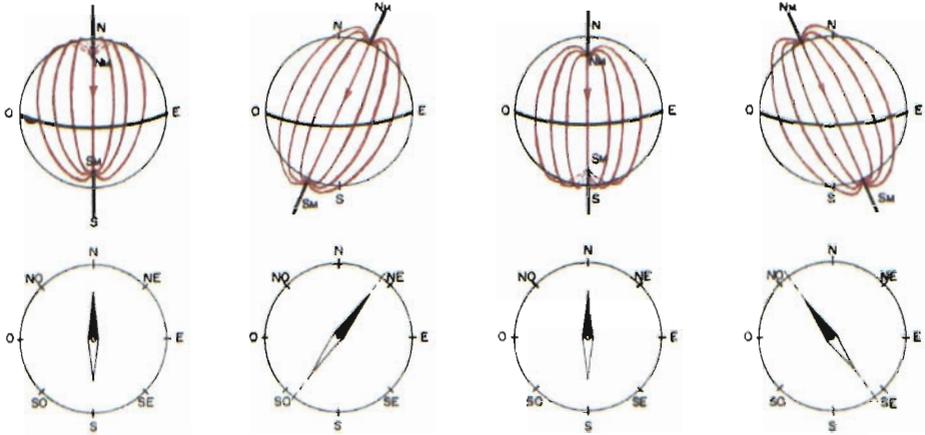
Pero, ¿Qué es la declinación magnética? Dicho de una forma muy simplificada, es la desviación que sufren las agujas magnéticas, o agujas de marear, respecto al Polo Norte geográfico, dependiendo de su posición en el globo terráqueo y debido a varios factores que se pueden resumir en la no coincidencia del Polo geográfico de la Tierra con el Polo magnético.

Ya Cristóbal Colón, desde su primer viaje al Nuevo Mundo, notó la «variabilidad» de este fenómeno en función del lugar. Sin embargo su explicación no fue muy afortunada ya que lo atribuyó al movimiento de la estrella Polar, combinando con factores atmosféricos y térmicos. ¡Qué imaginación!

Como ya reflejé al destacar a Martín Cortés, este gran cosmógrafo y maestro de navegantes hizo, en su libro *Breve compendio de la esfera y del Arte de Navegar*, una acertadísima exposición de sus teorías sobre este extraño fenómeno que sufrían las agujas de navegar.

## ESFERA CELESTE





N — BOREAS  
 NE — KAKAS  
 E — APELIGTES  
 SE — EUROS  
 S — NOTOS  
 SO — LIPS  
 O — ZEFIROS  
 NO — SKIRON

«Muchas y diversas son las opiniones que he oído acerca del “nordestear” y “noruestear” de las agujas, y, a mi parecer, ninguna da en el fiel y pocos en el blanco. Dicen nordestear cuando el aguja señala del Norte hacia el nordeste (NE), y noruestear cuando el Norte declina hacia el noroeste (NO). Para entendimiento de estas diferencias que las agujas difieren del Polo, hase de imaginar (estando en el meridiano donde las agujas señalan el polo) una punto bajo del Polo del Mundo, y este punto esté fuera de todos los cielos contenidos debajo del primer móvil. El cual punto o parte del ciclo tiene una “virtud atractiva” que atrae así al hierro tocado con la parte de la piedra imán correspondiente a aquella cierta parte del cielo imaginada fuera de todos los cielos movidos del primer móvil; porque si en cualquiera de los cielos movidos se imaginase moverse ya el “punto atractivo” al movimiento del primer móvil, y por consiguiente el aguja haría el mismo movimiento en 24 horas.

No se ve así; luego este punto no está en los cielos movibles ni tampoco está en el polo, porque si en él estuviese el aguja no nordestaría ni noruestaría; luego: la causa del nordestear y noruestear, o apartarse del Polo del Mundo, es que estando en el dicho meridiano el punto atractivo y el polo están en aquel mismo meridiano, y señalando la aguja el punto, señala directamente el Polo. Y caminando de aquel mismo meridiano a levante (como el mundo sea redondo), vase quedando el polo del mundo a la mano izquierda; y el punto de la virtud atractiva nos estará a la mano derecha (que es hacia el viento NE), y cuanto más a levante caminaremos mayor nos parecerá la distancia hasta llegar a noventa grados y allí será lo que más nordesteará. Y pasando de allí más adelante nos parecerá que se va llegando el punto atractivo a la línea

meridiana y al tanto irá el aguja enmendando el nordestear hasta tornar al mismo meridiano, en la parte opuesta de donde comenzaron. Y entonces estará el punto atractivo sobre el polo del Mundo...»

Martín Cortés sigue explicando, en este castellano simple y a la vez complicado, lo que va pasando a la aguja al ir desplazándose el observador hacia levante,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  y hasta los  $360^\circ$  o punto de comienzo, es decir, en la zona donde la aguja noruestaría.

Añade Cortes que: «es opinión de algunos marineros que el meridiano (donde enseñan las agujas el Polo) pasa por la isla de Santa María y otros por la isla del Cuervo, en las Azores»

Este texto de Cortés es un «clásico» en la historia de los estudios de magnetismo terrestre.

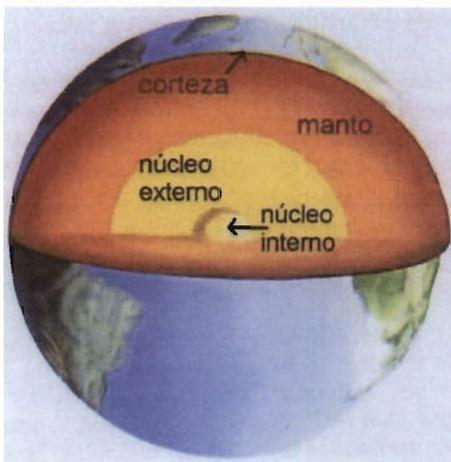
El primer mapa de variaciones magnéticas fue realizado en 1530 por Alonso de Santa Cruz, el maestro de astronomía y cosmógrafo del emperador Carlos I.

Quizás para un mejor entendimiento de este fenómeno de la declinación magnética es conveniente que hablemos someramente algo sobre el complicado problema del magnetismo terrestre o geomagnetismo:

El comportamiento de la Tierra como un gran imán estático ha quedado desestimado ante la consideración de una «dispositivo dinámico» actuante en su interior, en estado fluido, (núcleo externo), que convierte parte de la energía producida por el giro en energía magnética mediante un proceso similar al de una «dinamo automantenida». En efecto, la rotación del planeta y los efectos de la gravedad que operan sobre un medio líquido (el núcleo externo de la Tierra compuesto de hierro y níquel en estado de fusión, de más de dos mil kilómetros de espesor), en movimiento convectivo, denso en iones negativos y electrones libres, proporcionan los factores dinámicos del proceso. Por su parte la materia fluida, buena conductora de la electricidad, es el medio en el que se desplazan los electrones que crean el campo magnético que se propaga al exterior en forma bipolar.

Los efectos de las «líneas de fuerza» creadas por este campo sobre una aguja montada con ejes de giro en las 3 direcciones del espacio se traduce en una inclinación de la aguja en el plano vertical y un giro en el plano horizontal que la orientan en la dirección de un meridiano magnético (teórico) que parte de los polos magnéticos de la Tierra y pasa por la aguja.

El ángulo formado por el meridiano geográfico de ese lugar y la aguja (sin rozamientos) se define como «Declinación magnética» del lugar.



La declinación magnética, producto de ese imán dinámico que es la Tierra, es variable de un lugar a otro, y variable con el tiempo debido a las influencias ionosféricas, externas y terrestres, y a mecanismos de origen terrestre internos.

El segundo, y principal problema, del arte de navegar en el siglo XVI (y posteriores) fue el cálculo de las longitudes.

Longitud es la distancia expresada en arco de Ecuador entre un meridiano origen (p.e. Greenwich) y el meridiano del observador.

Precisamente el descubrimiento del fenómeno de la declinación magnética (¿Colón?) y de su causa principal (la existencia de un polo magnético o «punto atractivo» distinto del polo terrestre geográfico) llevó a los cosmógrafos, pilotos y navegantes, en general, a creer resuelto el problema de las longitudes.

En efecto, desde un punto de declinación cero (hacia las islas Azores, según se comprobó) en que el polo magnético está en el mismo plano que el polo geográfico; y navegando  $90^\circ$  a levante o a poniente se llegaría a un punto de máxima declinación (positiva o negativa); desplazándonos otros  $90^\circ$  llegaríamos a un punto de declinación otra vez cero... y así hasta completar la vuelta a la tierra.

¡Entonces, sabiendo la declinación magnética... sabríamos la longitud!

¡Todo se vino abajo al constatar que esta teoría no se cumplía... había otras causas!

- La declinación magnética dependía de la latitud.
- La variación de la declinación magnética no seguía un proceso lineal.
- Existen zonas donde se producen muchas anomalías.
- La variación de la declinación magnética depende del parámetro tiempo.
- En fin; que la Tierra no es un imán estático... y
- En general, que las líneas isógonas no coincidían (¡ni por asomo!) con los meridianos.

Abandonada esta teoría o teorías del cálculo de la longitud basándose en la declinación magnética se introdujo una nueva dimensión: el tiempo.

Pero antes hubo otros muchos intentos del cálculo de la longitud, como el del cosmógrafo catalán Jaime Ferrer, quien propuso a los Reyes Católicos tres métodos:

- Resolución de un triángulo rectángulo esférico, pero con el inconveniente de que para aplicarlo había que ser expertísimo cosmógrafo, aritmético, y marinero.
- El 2º método se basaba en la navegación de estima (punto de «fantasía») exigiendo, también, la participación de marineros muy expertos.
- El 3º. Método implicaba la «medición de la distancia angular entre la luna y un cuerpo celeste.

Ninguno prosperó.

El problema comenzó a solucionarse (no sería completo hasta el siglo XIX, como dije antes), al introducirse el factor tiempo.

La tierra efectúa una revolución cada 24 horas.

Cada hora, por lo tanto, equivale a un giro de (o arco de)  $15^\circ$  ( $360^\circ/24=15^\circ$ ) de longitud.

Si se cuenta con un buen «medidor de tiempo» se puede, obviamente medir el arco de ecuador avanzado, entre dos mediciones de Sol a su paso por el meridiano del lugar, por un observador que se traslade por la superficie del globo.

Ese arco es la diferencia de longitud entre la 1ª posición del observador y su posición final.

Pero en el siglo XVI el mejor medidor de tiempos era un reloj de arena.

La solución llegó con la introducción en el final del siglo XVIII y siglo XIX de los cronómetros marinos.

Como anécdota, diré que en 1598, Felipe II convocó un concurso dotado con 6.000 ducados de renta perpetua más otros 2.000 de ayuda para el que resolviera este trascendental problema (la idea la copiaron, después, Holanda, Inglaterra y Francia).

Al concurso se presentaron gentes de desigual condición: embaucadores, ingenios ignorantes y hasta los más destacados científicos. Uno de ellos, Galileo, aspiró al premio en cuatro ocasiones entre 1612 y 1632.

### **Navegación astronómica actual. Síntesis.**

Las diferencias o progresos astronómicos actuales respecto a los conocimientos en el siglo XVI podemos resumirlos en:

- Cronómetros marinos que nos dan con la máxima precisión la hora del meridiano del lugar.
- Efemérides (tablas) muy precisas de la posición de un astro (Sol, Luna, planetas, estrellas) en la esfera celeste en un instante dado.
- Conocimiento perfecto de la declinación magnética en cualquier lugar del globo y cualquier día del año.
- Instrumentos de observación muy precisos.
- Cartas náuticas planas. Fundamentales las de proyección Mercator o mercatorianas.

Con los precisos cronómetros y tablas de efemérides sabemos, en cualquier momento cual es el punto de la Tierra (coordenadas geográficas) que tiene un astro determinado en su zenit (vertical).

Si avanzamos un poco más, «El lugar geométrico de todos los puntos de la Tierra que observan un astro determinado, a una hora dada, con una misma altura; es un círculo en la esfera terrestre de centro el punto de la Tierra que tiene de zenit el astro y de radio (esférico) equivalente a noventa grados menos la altura del astro ( $90-a$ )».

Tomando la altura a más de un astro, y obteniendo el corte de esos círculos (lugares geométricos), se puede obtener la posición del observador.



Esto es la teoría: en la práctica todo es algo más complejo, ya que para obtener una precisión de una milla haría falta llevar a bordo una esfera terrestre de unos 7 metros de diámetro. La solución más común y práctica es representar estos círculos en la carta mercatoriana, sabiendo que: son de radio muy grande, y que en la «zona de incertidumbre» estos arcos de circunferencia se pueden aproximar a una recta, a la que llamamos «recta de altura».

El corte de las rectas de altura de varios astros, transportadas a un mismo instante para tener en cuenta el desplazamiento de la embarcación en su derrota, nos da la posición del observador en la carta mercatoriana.

### **Comentarios al libro *Regimiento de navegación* de Pedro de Medina**

El lector puede hacerse, entre otras, estas preguntas ¿Por qué esta publicación y no otra? ¿Qué se pretende con estos comentarios? Desde luego y muy posiblemente este

libro de texto de la Casa de Contratación de Sevilla, no es el mejor en su época, y Medina, como ya dije anteriormente no fue un gran científico, y hasta tuvo comentarios no acertados sobre la declinación magnética, pero presenta de una forma ordenada y lógica tanto los conocimientos teóricos como prácticos que debían saber los pilotos para poderse mover por ese extraordinario y complejo mundo del arte de navegar.

Leyéndole, en ese delicioso castellano de la época, se disfruta comprobando esos conocimientos teóricos y prácticos del siglo XVI.

La segunda pregunta ¿qué se pretende con estos comentarios?, está prácticamente contestada. El libro nos muestra con detalle los conocimientos en cosmografía y, sobre todo, en arte de navegación que podían conocer los pilotos de la época, los que conocía o podía conocer Andrés de Urdaneta, aunque no consta que pasara por la Casa de Contratación.

El libro contiene, según su autor «Las cosas que los pilotos han de saber para bien navegar; y los remedios y avisos que han de tener para los peligros que navegando les puedan suceder».

Consta de un prólogo, un proemio, unos «principios fundamentales» y dos partes diferenciadas. La primera que contiene seis libros y la segunda que contiene veinte avisos.

El prólogo es una bella y ¿divertida? Carta del autor al rey Felipe, tratando de «vender» su obra. Hay párrafos verdaderamente curiosos, divertidos y muy sutiles, que enseñan la filosofía de vida de estas gentes.

Dice Medina: «Entre las cosas de gran calidad que el ingenio humano inventó para sustento de los pobres, una muy principal fue fabricar navíos de diferentes clases, y hallar arte para gobernarlos y traerlos navegando por la mar. Unos movidos con velas con la fuerza de los vientos, otros movidos con remos con la fuerza de los hombres.

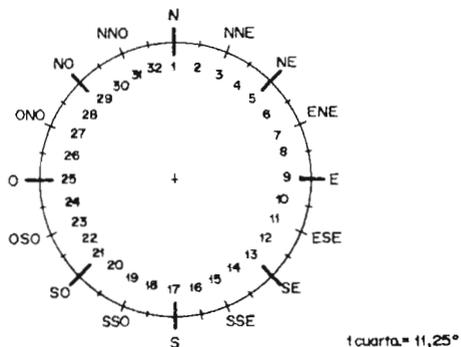


**Regimíento de nauegació**  
 Contiene las cosas que los pilotos hã  
 e saber para bien nauegar: e los remedios e auisos que han de  
 tener para los peligros que nauegando les pueden suceder.  
 Dirigido a la Real Magestad del Rey don  
 Philippe nuestro Señor.  
 Por el Maestro Pedro de medina vesino de Seuilla.

Por la navegación muchas cosas tenemos de grandes bienes y provechos. Una es que por ella se ha extendido y extiende la doctrina de Jesús y la predicación del Santo Evangelio por todo el Universo, mayormente en las Indias, que Nuevo Mundo llamamos, en que más de 8.000 leguas de costa de mar se ha navegado, y donde tantos reinos y provincias se han descubierto... Por la navegación se proveen las tierras y se socorre a las gentes. La navegación hace que lo que sobra en una provincia se lleve a donde de ello falta... Todos estos beneficios y muchos más no son hechos sin notorios peligros y con grandes atrevimientos de los que navegan, porque cierto es que en toda la vida humana, llena de trabajos y desastres, no hay duda que son más evidentes los peligros a aquellos que dejada la tierra, *morada propia* suya, van caminando por la mar, *morada ajena*, hecha por Dios para receptáculo de los peces...»

Sigue, Medina, relatando al rey los grandes valores del libro para uso de pilotos y suplicándole sea admitido, «no mirando tanto a lo que escribo que a la intención y voluntad que tengo de todo lo que de vida e ingenio me queda empleado en servicio de V.M., en provecho de todos los que siguen la navegación de la mar».

El proemio es una exaltación del «primor y la sutileza de la navegación de la mar». Dice, Medina, que este primor y sutileza es tanto que convino regirse en ella por los cuerpos celestes: el Sol, la Luna y las estrellas.



Habla de las alturas del sol y del Norte, de la aguja y carta de marear, del astrolabio, de la ballestina, de la Luna, de los relojes de arena, ...

En sus «Principios fundamentales», que son diez para Medina, el autor nos señala cuáles son. Dice Medina: «Todo hombre que navega conviene que tenga entendidos diez principios fundamentales con que se entienden las cosas que en la navegación de la mar se practican, que son las siguientes: Altura, grado, horizon-

te, línea equinoccial, parte del norte y parte del sur, declinación, trópicos, paralelo, meridiano y zenit».

Vemos, como ejemplo, como define la «línea equinoccial»: «La línea equinoccial es una raya o círculo imaginado por medio del mundo en igual apartada de ambos polos así que de ella a cada uno de los polos hay noventa grados. Dícese “equinoccial” porque pasando el Sol por ella, que es dos veces en el año, una a once de marzo y otra a trece de septiembre hace equinoccio, que es igualdad del día con la noche. Esta línea se imagina que ciñe el mundo de levante en poniente, siempre fija sin mudarse en el cielo, en el aire, en la mar y en la tierra: que en toda parte se puede imaginar». O como define la declinación del Sol: «Lo que llamamos declinación del Sol es el apartamiento que el Sol por su propio movimiento hace desde la línea equinoccial hasta los trópicos los seis meses del año que se mueve desde la línea por la parte del norte hasta que llega al Trópico de Cáncer, y otros seis meses a la parte del Sur que llega al Trópico de Capricornio. O, por último como define el Zenit: «Zenit es un punto imaginario en el cielo derechamente puesto encima de nuestra cabeza y desde este punto a cualquier parte de nuestro horizonte hay noventa grados. Así que el zenit es el polo del horizonte.»

La primera parte, en su libro I *Carta de Marear* nos habla de «las cosas que la carta de marear enseña en la navegación».

Habla, Medina de la «figura» y «postura» que tiene la tierra; de los vientos o rumbos, de la distancia del camino por la mar; de qué altura en grados tiene cada cosa que en la carta se señala; de «echar punto» (situarse), de navegar «por fantasía» (estima); del rumbo y del porqué «siendo todos los rumbos iguales», se dan más leguas por grado (latitud) en unos rumbos que en otros (rumbos en dirección más N-S o más E-W).

En su libro segundo de la primera parte nos habla Medina de los 32 vientos; 8 enteros, 8 medios y 16 cuartas, identificando cada cuarta en 11,25 grados y un grado 17,5 leguas.

Entre los libros II, III, IV, V, VI y VII nos habla detalladamente de cómo se buscará en la carta el viento (rumbo) adecuado con qué se ha de navegar; de cómo echar punto (situarse) conforme a la altura observada; de cómo comprobar

si el punto «echado» en la carta es correcto o no; de cómo enmendar por altura observada el punto echado por fantasía; o de cómo esa enmienda es o no cierta.

Por fin en este primer libro de la primera parte, en sus capítulos VIII y IX, Medina, nos habla de las leguas que se cuentan por grado (en latitud) en cada rumbo de la navegación y de cómo «intenta» aclarar el «por qué en los rumbos de la navegación siendo todos iguales se dan más leguas por grado en un rumbo que en otro», y lo hace de una forma verdaderamente curiosa. Dice, Medina, que ¿cómo puede pasar esto? si: «todos los rumbos son como círculos mayores en la



esfera de tal manera que todos pasan por el centro...» Continúa diciendo: «en las leguas de los grados hay tres diferencias; una es las leguas que tiene el grado en redondez del mundo por círculo mayor; otra es las leguas que tiene el grado de redondez por círculo menor (paralelo), y la tercera, las leguas que se da a cada grado en los rumbos de navegación cuanto a la elevación o altura de los polos».

Desde luego era obvio que se navegaba por círculos máximos, no existían las cartas mercatorianas donde para navegar por círculo máximo hay que cambiar continuamente de rumbo. No tenían todavía el concepto de loxodrómica y ortodrómica.

El libro segundo de la 1ª parte es el «Libro de altura del Sol».

En sus 16 capítulos nos explica:

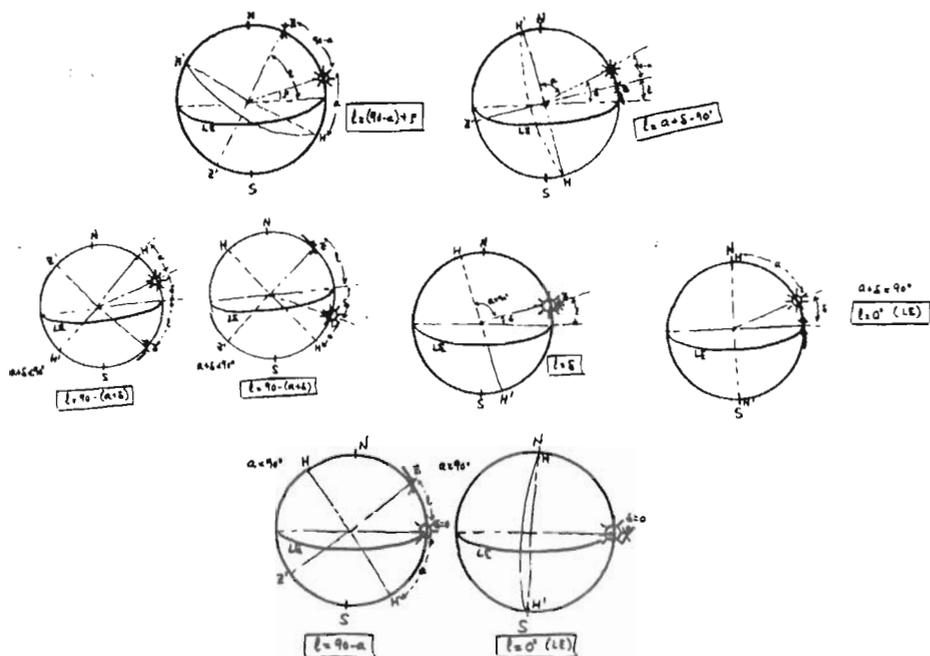
En sus capítulos I y II: como se mueve el Sol (movimiento aparente), eclíptica, trópicos, equinoccios y solsticios y los 2 diferentes indicaciones de movimientos (E-O y N-S), y se hace la pregunta de por qué unos días avanza más N-S que otros.

Entre los capítulos III al X describe los distintos casos de posición del Sol mirando la sombra que hace en cada caso y aplicando la fórmula correcta para calcular la latitud del observador una vez observada su altura.

En el capítulo XI describe el año del Sol y cómo se sabrá si es bisiesto.

En el XII habla de «las cinco cosas que se debe mirar para tomar la altura del Sol»: Hora, declinación, sombras, astrolabio y regla (formula).

Describe la «Eclíptica» y nombra los 12 signos del zodiaco, los septentrionales (primavera/verano): Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo y Virgo; y los australes (otoño/invierno): Libra, Escorpio, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis.



Por fin entre los capítulos XIII al XVI habla de la declinación solar, de las tablas de declinación, planteándose el «¿por qué el Sol anda más tiempo a la parte del Norte que la del Sur?» y el «¿por qué unos días hace el Sol más declinación, y otros menos?»

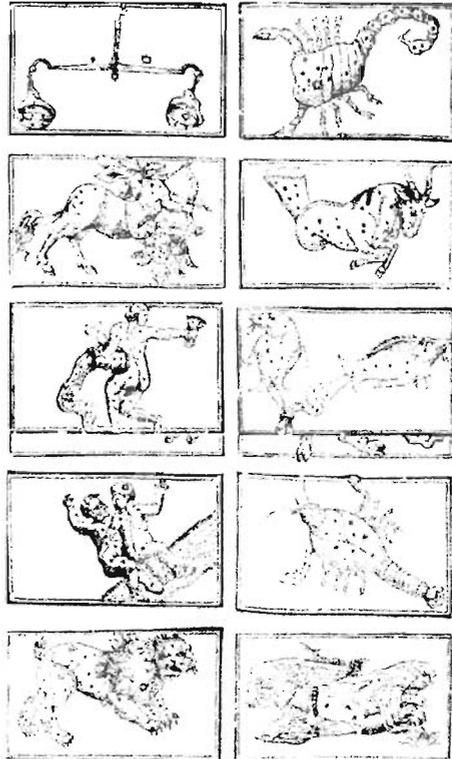
Este fenómeno ya esbozado en el capítulo II, es ahora afrontado por Medina

que hace una serie de afirmaciones y elucubraciones muy curiosas, y ni mucho menos todas falsas para explicarlo. Fenómeno que fue muy bien observado y con pocos errores. Entonces todavía no habían llegado Kepler ni Newton, que con sus leyes y teorías ¿ciertas?... por lo menos ahora nos sirven para entender este maravilloso mecano del Universo.

El libro tercero es el «Libro de la altura del Norte». En sus ocho capítulos trata de «qué cosa es el Polo y cómo la altura del Polo es conforme con la altura del Sol». Trata también de las «tres cosas que se han de considerar para tomar el altura del polo Ártico (N)» que identifica con el



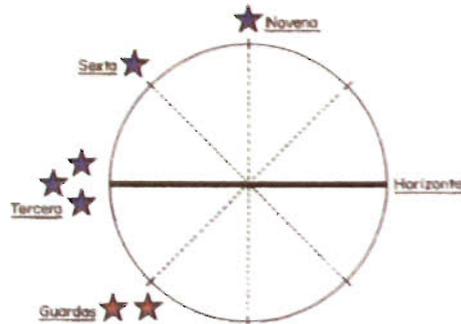
propio polo, la estrella del Norte (Polar) y las «guardas». Es verdaderamente ingenioso cómo resolvieron estos navegantes del XVI el problema de la observación del Polo Norte (estrella Polar) cuando navegando cerca del Ecuador no podían observarla pero sí estas 2 estrellas que llamaron «guardas» y con ellas y de una manera muy ingeniosa obtenían la altura del Polo y por consiguiente la latitud, y cómo llegaron a poder obtener esa altura del Polo (Norte) por medio de otras tres estrellas que llamaron 3ª, 6ª y 9ª, cuando no podían observar ni la Polar ni las guardas, o cómo basándose en las guardas y estas tres estrellas (3ª, 6ª y 9ª) podían tomar la altura del Norte aunque no vieran el horizonte.



Acaba, Medina, este tercer libro dando una serie de consejos prácticos sobre la toma de la altura del Norte da consejos al piloto «cuando se va navegando y no se puede tomar altura en muchos días» y aclara unas dudas sobre la observación de las guardas.

El libro cuarto o «libro de las agujas de marear» describe en tres capítulos la importancia de este instrumento, explica de manera somera el «nordestear» y «noruestear» de las agujas pero sin profundizar en el problema de la declinación magnética y expone que «tres casos en la navegación hay, los cuales aunque se ven sus efectos no se saben las causas» y éstas son: vientos, corrientes y variación de la aguja (declinación).

El libro quinto es la «libro de la cuenta de la Luna y cómo vienen las corrientes y menguantes en la mar». En sus 8 capítulos habla del «año lunar» de 354 días en 12 «conjunciones» de 29,5 días. Conjunción es «el momento en que el Sol y la Luna están justamente debajo de un mismo grado del zodiaco». Medina lo describe así: «Este día de la conjunción no vemos la Luna porque como el Sol hace su movimiento en el 4º ciclo (según la esfera de





todo esto se deduce que teniendo buena estimativa, se podrá tener en cuenta no sólo de «hora entera» sino más bien de media hora, y de un cuarto de hora».

Este sistema ingenioso para poder tener la hora, podría, por otra parte haber servido en aquella época, para el cálculo de las longitudes, pero como una revolución de la Tierra son 24 horas de reloj y 360° de arco, resulta que una hora son 15 grados de arco y 900 millas.

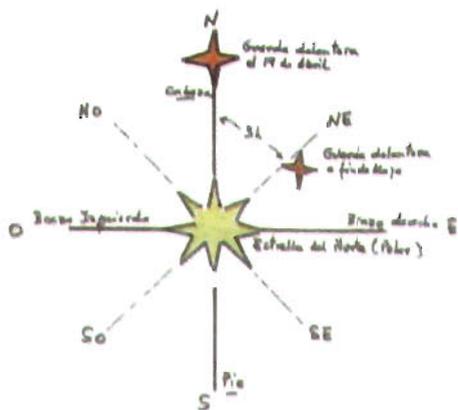
La precisión de un cuarto de hora, equivale, por tanto a 225 millas ¡demasiado error!

La parte segunda del «Regimiento» de Medina la constituye veinte «avisos» prácticos para los pilotos, que tratan sobre:

- Instrumentos.
- El navío.
- El viento.
- La derrota, el rumbo, la vía.
- El decaimiento o abatimiento.
- El tiempo forzoso.
- La sonda.
- Las corrientes.
- Las señales de huracanes y tormentas.
- El temporal.
- De cuando la nao hace mucha agua.
- De cuando se pierde la nao.
- De cuando se quiebra el timón.
- De «garrear».
- De cuando se gobierna en demanda de puerto.
- De la aproximación a la costa.
- De la entrada en puerto a rumbo distinto al conocido.
- Algo más sobre tomar puerto y fondear.
- Del oficio de piloto.

Como final de estos comentarios al libro de Medina voy a transcribir lo que dice sobre el aviso número veinte, «Del eminente cargo de los pilotos».

«Mostrado se han en las reglas y avisos que de suso se han dicho todas las cosas que para buena navegación de la mar se deben saber. Lo cual todo justa cosa es que los pilotos y todos los que siguen la navegación tengan dello saber experiencia y ánimo para lo entender y obrar, y dar razón de todo lo



que en la navegación se ofreciese. ¡Consideren los pilotos el eminente grado que tienen que es el mayor que de las cosas corporales se puede dar, pues los reyes, príncipes y señores ponen sus personas y vidas en su habilidad y saber! Y ellos los llevan por la mar navegando a muchas partes, y así mismo en su saber se encomiendan las vidas y haciendas de tanto número de hombres como tantas veces llevan por la mar de unas partes a otras en tan largos y dificultosos caminos como navegando hacen. También la grande confianza que dellos se tiene poniendo en su poder muchas veces grande cantidad de oro y plata y otras riquezas que contino de las Indias traen. Y pues es así que el grado de piloto es grande, también ha de ser grande el saber que deben tener para bien hacer las cosas de la navegación. Porque el hombre que está constituido en algún oficio público y no sabe, o procura saber lo que a tal oficio conviene, no tiene buena conciencia, antes está en estado de pecado, esto es, porque además de la obligación que a ello tiene por la ley divina, también la ley humana y el derecho de las gentes a ello obligan. Por tanto los pilotos y todos los que la navegación de la mar siguen lean bien este libro que aquí hallarán todas las cosas que se deben saber para bien navegar y pues es cosa que tanto les conviene procuren de no tener ignorancia de ninguna de ellas. Acuérdense que Séneca dice que ningún tiempo es tarde para aprender y que el saber es cosa tan buena que si tuviese el un pie en la sepultura desearía saber. Y digo que los pilotos que así lo hicieren demás de cumplir con la obligación que tienen, acontecerles ha lo que al caballero que va encima de su caballo a entrar en batalla, que lleva contento cuando tiene saber de todo aquello que al arte de la caballería conviene, y el que no, continuo va con temor. Así los pilotos cuando fueren en sus navegaciones llevarán gran contento cuando supieren todas las cosas que para bien navegar han menester».

El libro finaliza con el «Fin»:

«A la gloria de Dios nuestro Señor y de su benditísima Madre y para provecho y utilidad de los navegantes, imprimiose el Regimiento de la Navegación de la mar que hacia el Maestro Pedro de Medina, vecino de Sevilla en la dicha ciudad en las casas de Simón Carpintero junto a la Iglesia de San Pedro, en el mes de febrero del año del Nacimiento del Señor de 1563. Y de la edad del autor setenta años»

### **Algunas misceláneas/conjeturas sobre Urdaneta**

Urdaneta fue, como adelanté en la introducción, bastante más que un extraordinario navegante, aventurero, diplomático, soldado, fraile... Fue un hombre del Renacimiento. Curioso, culto ¡Sabía mirar más que ver! Todo lo observaba minuciosamente.

Es bellísima su descripción de cómo los peces voladores (abundantes en aguas ecuatoriales), huyendo de los voraces «albacoros» (especie de túnidos) caen en las garras de los «pájaros rabihorcados» (fragatas), o cómo al querer

huir de ambos, los enemigos del agua y del aire «vienen a abatirse a los enemigos de tierra en las cubiertas de las naos».

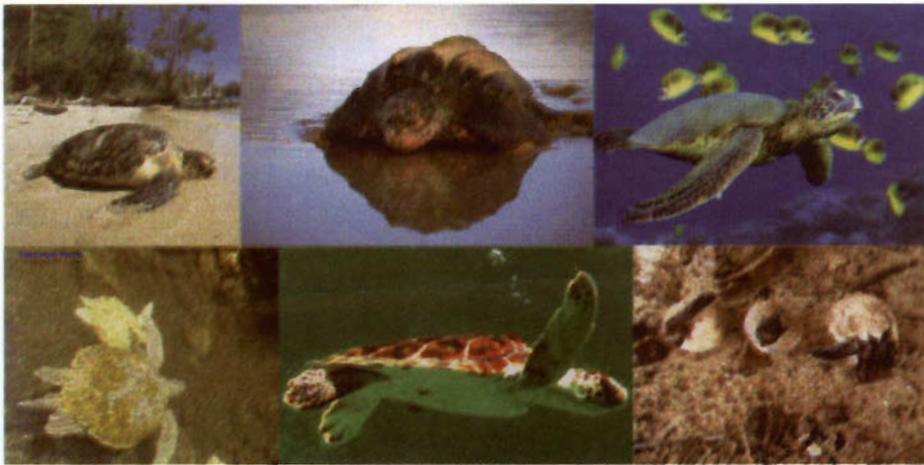
Urdaneta en su primer viaje con Loaysa y J.S. de Elcano, observó con preocupación y detenimiento cómo iban «cayendo» sus jefes uno tras otro: Loaysa, J.S. de Elcano, mandos intermedios... El sabía que aquello era algo distinto al terrible escorbuto. Quizás recordara los festines de «picuda» o «picua» (barracuda) que se dieron los mandos de la expedición unos meses atrás en aguas del golfo de Guinea, y lo relacionase con los primeros «males de cámara» (diarreas) y las muertes posteriores. Observaba y observaba, aunque no supiera que muy probablemente esas picúas tuvieran el mal de la «ciguatera» de tan fatales consecuencias.

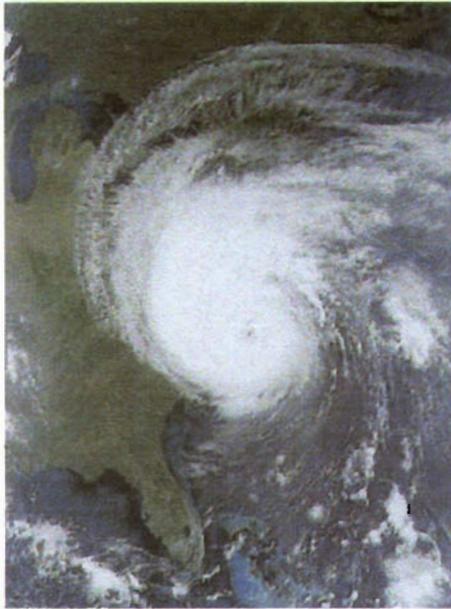
Posiblemente podríamos haberle visto en las costas mejicanas en su época de cargos públicos o ya de agustino, observando la increíble eclosión, el extraordinario espectáculo del nacimiento de cientos de tortugas marinas. ¿Serían las enormes «tortugas blancas» del golfo de California, las hermosas «carey» del Atlántico o del Pacífico, la «prieta» del Pacífico, la pequeña «lora» que anida de día, o la gigantesca «laud», entre Jalisco y Chiapas?. Desde luego no dejan de ser conjeturas, pero existen referencias del interés de nuestro personaje por estos animales ancestrales.

Andrés de Urdaneta observó las corrientes de las costas occidentales de América y las de la zona asiática de Molucas y Filipinas. ¡Observaba el movimiento de las algas marinas... y tomaba conclusiones!

No tuvo más remedio que soportar algún ciclón tropical, tifón, baguío filipino o similar y desde luego tomar buena nota de direcciones de los vientos y fechas. ¿Y de los estacionarios monzones?

Finalmente y traspasando la barrera de la conjetura (no en vano Urdaneta solía decir que él podría volver de Filipinas a Nueva España «hasta en carreta» y es perfectamente válido asegurar que en 1563 ya había llegado a la conclusión de la existencia de una «célula anticiclónica» en el Pacífico, y que, como ocurre en el Atlántico, se podía navegar hacia levan-





te con solo tomar la suficiente latitud Norte. ¡Allí tenían que existir los ansiados vientos de poniente! Andrés de Urdaneta, desde luego, no podía saber las razones del nacimiento de los vientos, de las grandes masas de aire en movimiento, no conocía el concepto de presión atmosférica, ni, por supuesto, las leyes de Avogadro, Gay Lussac,... que serían las que revolucionarían la dinámica de los gases y originarían los inicios de la meteorología.

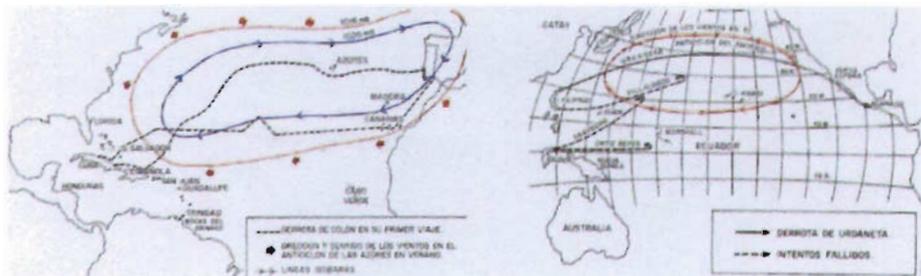
¡No conocía nada de esto, pero intuyó para el océano Pacífico una circulación de vientos a gran escala similar a la de océano Atlántico, la que Cristóbal Colón había constatado en sus viajes al Nuevo Mundo.

## Conclusiones

Siempre se ha mantenido la polémica sobre el paralelismo e importancia entre el descubrimiento de América y la llegada del hombre a la Luna. Que si fue un hito comparable, que si una abrió los confines del hombre a otros mundos (lo que está por ver) y el otro abrió los confines de Europa a otros continentes, que si una fue una gran proeza, el otro lo fue mayor...

En mi opinión, el Descubrimiento tuvo mayor trascendencia, y creo que fue una proeza mayor, pero también creo haber dejado bastante claro con los comentarios del libro de Medina, que los españoles de finales del siglo xv y sobre todo del siglo xvi, y Urdaneta entre los más insignes ¡no iban con los ojos cerrados! Sabían lo que hacían.

Pedro de Medina escribió:





«Los españoles... no solo han tenido y tienen esfuerzo y ánimo, sino la industria de saber hacer caminos por el agua donde Natura los negó, guiándose por una cosa tan movible como es el cielo y las estrellas.»

Urdaneta, fue uno de ellos: español insigne, aventurero, extraordinario piloto, curioso, negociador, soldado, hombre de Dios... ¿y científico?. Desde luego marino, amigo de la mar. De esa mar que según Vital Alsar:

«Es como la mujer: suave, salvaje, dulce, variable.  
Es imposible entender sus cambios de humor.  
Es como el primer amor: puro y virgen, tormentoso y turbulento.  
Siempre probándote y confundiéndote.  
Si quieres conquistarla, tienes que asegurarte si serás suficientemente fuerte.  
¡Te llevará hasta el límite!...  
Pero si sobrevives...  
Te abrirá sus brazos...  
Y te protegerá»

Urdaneta, ¡científico o no!, supo sobrevivir a la mar y la mar siempre le protegió.

## **Bibliografía**

ARTECHE, José de: *Urdaneta el dominador de los espacios del Océano Pacífico*. Espasa Calpe. Madrid, 1943

- CABRERO, LEONCIO: *Andrés de Urdaneta*. Edit. Quorum. Madrid, 1987
- CEREZO MARTÍNEZ, Ricardo: *La cartografía náutica española en los siglos XIV, XV y XVI*. CSIC. Madrid, 1994.
- CORTÉS ALBACAR, Martín: *Breve compendio de la Esfera y del Arte de Navegar. 1531*. Estudio de Domingo Cuesta. Edit. Naval, Madrid, edición 1990.
- DE MEDINA, Pedro: *Regimiento de Navegación. 1563*. Edic. facsímil. Valencia, 1993.
- DE MIGUEL BOSCH, José Ramón: *Urdaneta en su tiempo*. SOG/GOE. San Sebastián, 2003.
- FERNÁNDEZ DE ENCISO, Martín: *Summa de Geographia*. Museo Naval de Madrid. Madrid, edición 1987.
- GONZÁLEZ, Francisco José: *Astronomía y Navegación en España. Siglos XVI-XVIII*. Mapfre. Madrid, 1992
- LINES ESCARDO, Alberto: «Colón y Urdaneta, descubridores de los anticiclones del Atlántico y del Pacífico». *Revista de Historia Naval*, núm. 1. Madrid 1983
- LÓPEZ PIÑERO, José María: *Ciencia y técnica de la Sociedad española (siglos XVI y XVII)*, edit. Labor. Barcelona 1979.
- El Arte de navegar en la España del Renacimiento*. Edit. Labor. Barcelona 1986.
- MARAVALL, José Antonio: *Antiguos y modernos*. Alianza Editorial. Madrid, 1986.
- MILLAS VILLACOSA, José María: *Estudios sobre Historia de la Ciencia española*. CSIC. Madrid, 1987.
- MOREU CURBERA, José María: *Astronomía y navegación*. Edit. San José. Vigo 1968-72
- PEREIRA FERNÁNDEZ, José María. «In memoriam de Andrés de Urdaneta en el quinto centenario de su nacimiento». *Revista de Historia Naval*, núm. 102. Madrid, 2008
- TORRES LÓPEZ, Carmen: *La era de los descubrimientos, del siglo XV al XVIII*. Comunidad de Madrid. Madrid, 2004.
- «Andrés de Urdaneta y el Galeón de Manila». *Revista General de Marina*. Marzo, 2008.