Capítulo 1

Navegación astronómica: encajemos el puzle antes de empezar

Los comentarios de muchas de las personas que por primera vez se enfrentan al estudio de esta materia suelen coincidir en que una de las mayores dificultades iniciales es la de tener que estudiar una gran cantidad de conceptos nuevos, con su peculiar terminología, aparentemente poco o nada relacionados con el problema cuya solución se persigue: obtener nuestra posición cuando nos encontramos en medio del mar sin posibilidad de tomar referencias de la costa. En otras palabras, se echa en falta una visión inicial global del problema que sirva luego, durante el estudio detallado de la materia, de hilo conductor que permita, por decirlo de alguna manera, estudiar cada uno de los árboles por separado sin perder por ello de vista el bosque. Si lo prefiere, puede pensar el lector en la navegación astronómica como si de un puzle que hemos de encajar se tratase. Es muy conveniente entretenerse un rato en mirar la imagen que hemos de reconstruir antes de lanzarnos a analizar cada pieza del puzle en detalle. En el puzle de la navegación astronómica las piezas se pueden clasificar en distintos grupos y, es cierto, para alguien recién llegado al estudio de esta materia los comienzos pueden ser abrumadores. Pero lo que es desconcertante al principio es la gran cantidad de conceptos nuevos desconocidos para el estudioso, la gran cantidad de piezas que tiene el puzle. Sin embargo, como vamos a ver en este capítulo de introducción, la imagen que tenemos que construir con esas piezas es sorprendentemente simple. Esa imagen es la que tenemos que mantener en nuestra mente como guía durante el estudio de los capítulos siguientes, dedicados al estudio detallado de las distintas piezas, hasta que, en el capítulo 10, terminemos encajándolo definitivamente.

El objetivo de cualquier técnica de navegación es determinar la posición del barco en un momento dado. Los conceptos de latitud y longitud, tal cual los utilizamos hoy día, eran ya conocidos y empleados en la antigüedad para especificar la posición de los distintos lugares. Por ejemplo, eran utilizados por Ptolomeo que publicó su *Atlas Mundial*, compuesto por 27 mapas, en el año 150 d.C. La pregunta fundamental es entonces, ¿cómo determinamos nuestra latitud y longitud cuando nos encontramos en medio del mar? La respuesta es siempre la misma, independientemente de la técnica de navegación en particular que estemos utilizando:

Mirando cómo vemos desde donde nos encontramos algo que de antemano sabemos donde está.

Pongamos un ejemplo, seguramente muy familiar para el lector, tomado de la navegación costera:

Supongamos que nos encontramos navegando por el Estrecho de Gibraltar, siguiendo un rumbo de 245° y con velocidad de 12 nudos, con el faro de Punta Europa a la vista. En un determinado instante, utilizando un compás de demoras, medimos la demora de este faro obteniendo 300°. Continuamos navegando manteniendo el rumbo y la velocidad hasta que 18 minutos después volvemos a medir la demora del mismo faro con el resultado de 30°. ¿Dónde nos encontramos?

La resolución de este problema sigue exactamente el principio establecido: hemos *medido cómo vemos* (las demoras) desde nuestra situación (aún desconocida) algo que de antemano sabemos donde está. Ese algo es un faro que *sabemos identificar* desde el mar, durante el día porque conocemos el faro o leemos su descripción en el derrotero, durante la noche porque sabemos identificar un faro observando su luz (grupo de destellos y periodo). Además, sabemos *localizarlo en la carta náutica* que a tal efecto llevamos a bordo. En la figura 1.1 se muestra la resolución de este problema elemental de navegación.

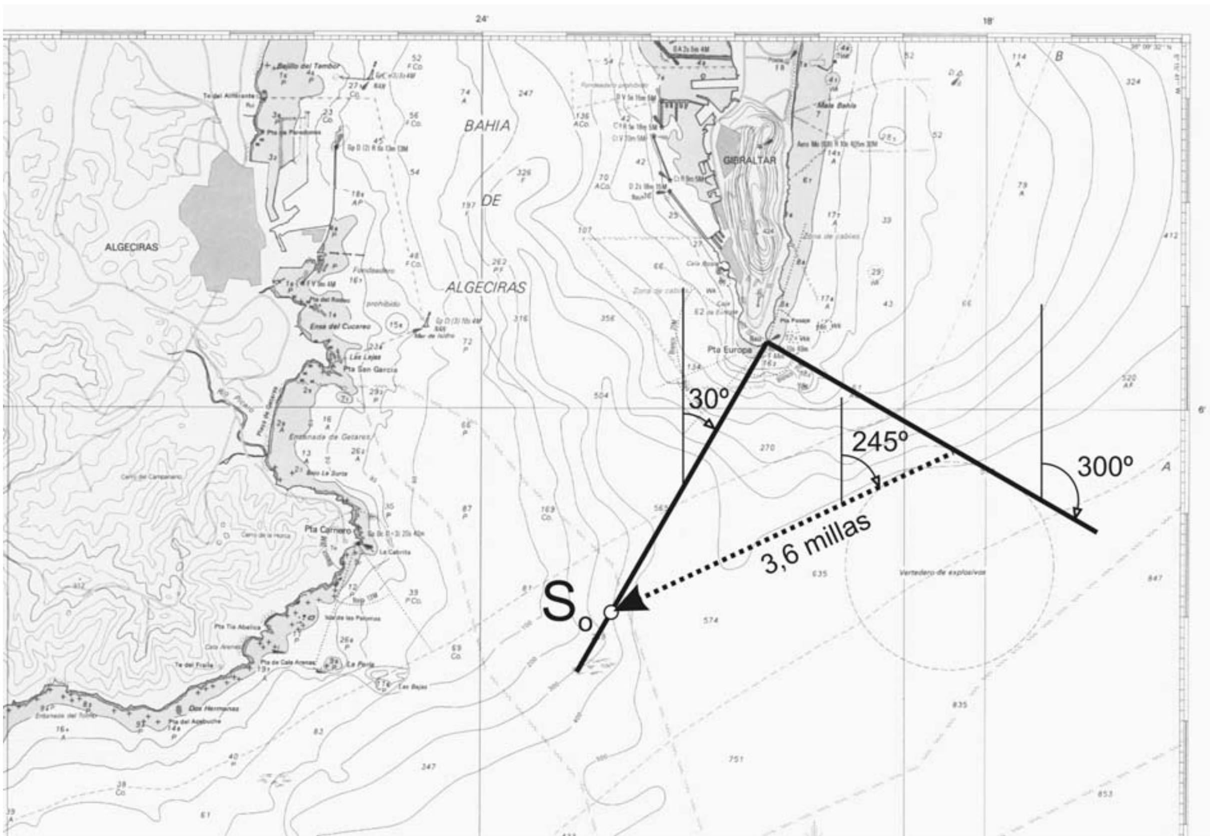

Figura 1.1: Resolución gráfica del problema de navegación planteado en el texto.

En el instante de la primera observación nos encontramos necesariamente sobre alguno de los puntos de la recta que, partiendo del faro, forma un ángulo de 300° con los meridianos que corta. Desde *cualquiera* de los puntos de esa recta veríamos el faro con una demora de 300° así que, como eso es precisamente lo que hemos *observado* con nuestro compás de demoras, la conclusión no puede ser otra: estamos en alguno de los puntos de esa recta, aunque no sabemos aún en cuál de ellos. 18 minutos después estamos necesariamente, por la misma razón, sobre alguno de los puntos de la segunda recta que parte del faro. Ahora bien, el dato adicional que tenemos es que durante esos

18 minutos hemos navegado 3, 6 millas náuticas en la dirección que forma un ángulo de 245° con los meridianos. Hemos dibujado pues una flecha de longitud 3, 6 millas y en la dirección 245°. La única manera de que se cumplan las tres condiciones que tenemos (estar inicialmente sobre la primera recta, 18 minutos después estar sobre la segunda y haber navegado 3, 6 millas al 245° en esos 18 minutos) es que la situación del barco en el instante de la segunda observación sea el punto indicado por el círculo en la figura 1.1 y etiquetado como S_o (es decir, *situación observada* porque está basada en las observaciones que hemos hecho). Como información adicional sabemos ahora, además, que en el instante en que medimos la primera demora nos encontrábamos en el origen de la flecha que representa la navegación realizada entre ambas mediciones. Como habrá observado el lector, se trata de una idea muy simple. Sin embargo, también existen detalles en este caso que hemos de tener en cuenta (y que, deliberadamente, hemos pasado por alto pues ahora estamos interesados sólo en la idea). Por ejemplo, la demora que medimos con el compás no podemos dibujarla directamente sobre la carta pues hemos de tener en cuenta la declinación magnética del lugar y el posible desvío del compás de demoras, el mismo comentario se aplica también al rumbo al que navegamos, etc.

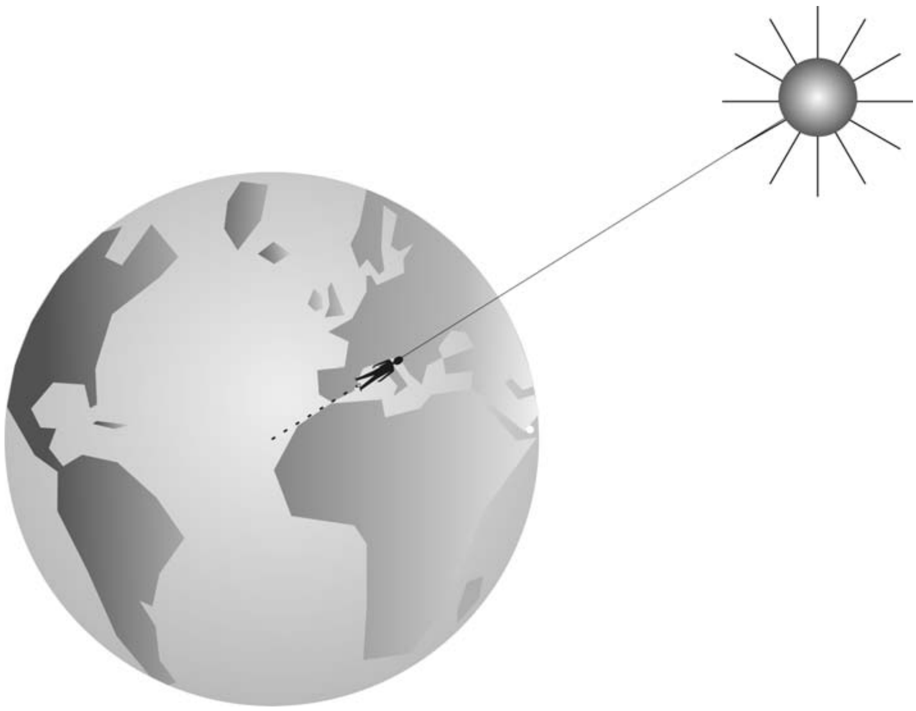

Figura 1.2: La idea básica de la navegación astronómica: sólo nosotros vemos el cielo exactamente como lo estamos viendo en un instante dado.

¿Qué ocurre cuando nos encontramos en medio del océano, lejos de la vista de la costa? La solución al problema de determinar nuestra posición es la misma. Nos situamos a partir de la manera en que vemos desde donde nos encontramos algo que de antemano sabemos dónde está. Y en este caso ese algo no puede ser otra cosa que el cielo, los astros. Puesta de la forma más simple posible, la idea es que el cielo que nosotros estamos viendo en un instante dado se ve de esa precisa manera tan sólo desde el lugar en el que nosotros nos encontramos. Cualquier otro observador ve el cielo de manera distinta en ese mismo instante. Luego, si sabemos *leer el cielo* sabremos relacionar lo que vemos sobre nosotros con nuestra posición sobre la Tierra. Para ilustrar esta idea imaginemos un caso peculiar: nos encontramos navegando en medio del océano. En un instante dado salimos de la cabina y nos damos cuenta de que tenemos el Sol exactamente sobre nuestra cabeza (ese punto del cielo se llama el *cenit*). En ese caso hemos de concluir necesariamente que nos encontramos en el punto en el que la proyección del Sol hacia el centro de la Tierra corta a la superficie de nuestro planeta, como se muestra en la figura 1.2. El hecho importante es que *las coordenadas de ese punto las sabemos de antemano,* y las llevamos a bordo, porque son publicadas cada año, para cada instante y para cada uno de los astros que se utilizan en navegación, por el Real Instituto y Observatorio de la Armada en la publicación imprescindible para la práctica de esta técnica de navegación, el *Almanaque Náutico*. Este simple ejemplo muestra claramente la idea: en ese instante *sólo nosotros* veremos el Sol exactamente sobre nuestra cabeza. Cualquier otro observador, situado en cualquier otro lugar del planeta, que mire al Sol en ese mismo instante lo verá situado en un punto diferente del cielo, nunca en su cenit.

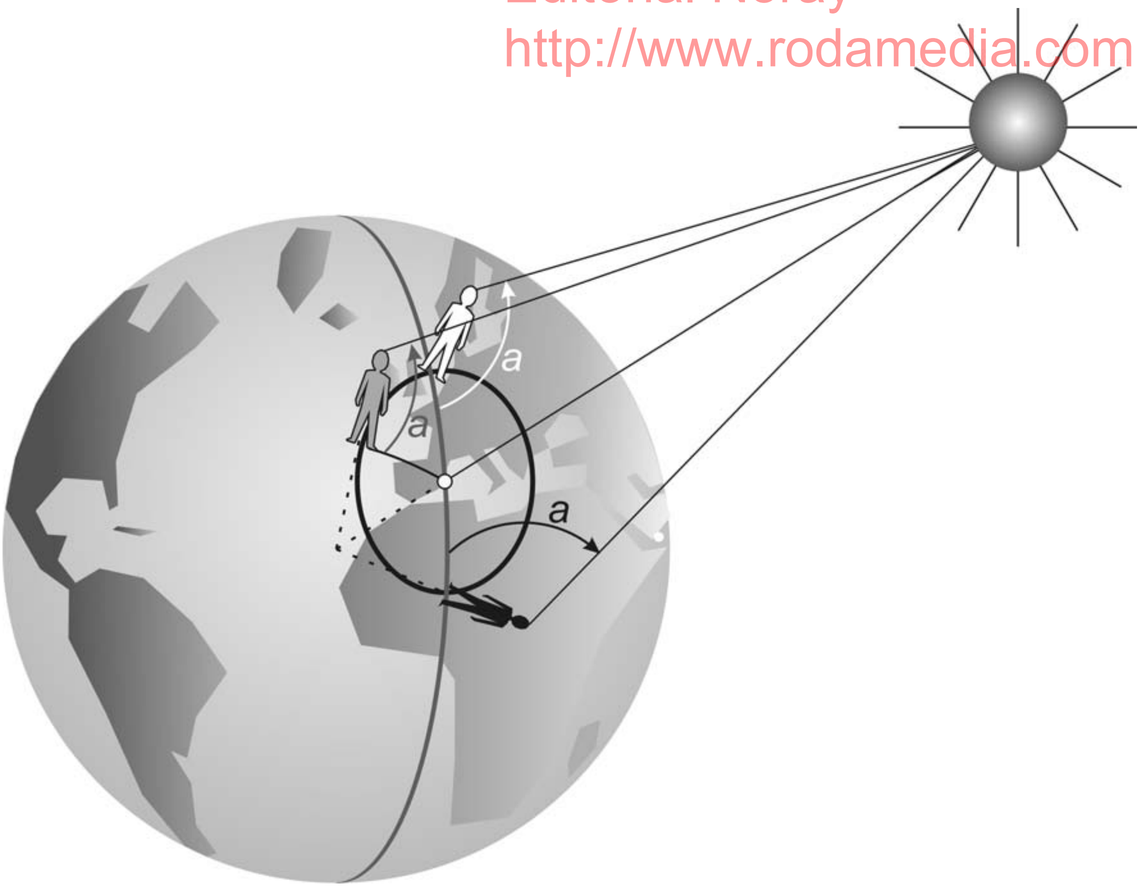

Figura 1.3: La idea básica de la navegación astronómica: sólo nosotros vemos el cielo exactamente como lo estamos viendo en un instante dado. Caso más general.

Pero sería mucha casualidad que en el instante en que se nos ocurre determinar nuestra posición observando los astros nos encontremos con el Sol (o cualquier otro astro) exactamente sobre nuestra cabeza. Lo que ocurrirá en general es que para ver al Sol tendremos que mirar hacia una determinada dirección a lo largo del horizonte (por ejemplo, hacia el sur) hasta encontrar el punto del horizonte justo debajo del Sol (en la *vertical* del Sol). Entonces levantamos la vista desde el horizonte a lo largo de esa vertical un ángulo a (ese ángulo se llama *altura* del astro en ese instante). En la figura 1.3 hemos representado esta situación general. Imaginemos primero que somos el observador que se halla situado en el norte de Europa. Este observador verá el Sol con una altura a sobre el horizonte mirando exactamente hacia el sur. El observador que se encuentra en África, exactamente a la misma distancia de la proyección del Sol pero hacia el sur en lugar de hacia el norte, verá al Sol en el mismo instante con la misma altura a que la medida por el primer observador. La diferencia es que este segundo observador tendrá que mirar hacia el norte en lugar de hacerlo hacia el sur. El tercer observador representado en esa figura, situado al noroeste de Galicia, ve al Sol en el mismo instante con la misma altura a sobre el horizonte, pero mirando hacia el sureste. Es claro entonces que si trazamos sobre la esfera terrestre un círculo cuyo centro sea la proyección del astro sobre la Tierra en el instante considerado, como se muestra en la figura 1.3, *cualquier observador situado sobre ese círculo verá al astro en ese instante con la misma altura sobre su horizonte*. Por esta razón ese círculo se llama *círculo de alturas iguales* y es el concepto fundamental de la navegación astronómica. La única diferencia en la observación del astro en el instante considerado entre un par cualesquiera de observadores situados sobre el círculo de alturas iguales es que cada uno habrá de mirar hacia un punto diferente de su horizonte para encontrar la vertical del astro. Pero el ángulo a recorrer desde ese punto del horizonte a lo largo de la vertical del astro hasta encontrarse con él es exactamente el mismo para todos los observadores. Podemos extraer otra conclusión de los dos ejemplos anteriores: cuanto mayor es la altura con la que vemos el astro sobre el horizonte, menor es el radio del círculo de alturas iguales. En efecto, cuando veíamos al Sol en nuestro cenit su altura era máxima ($90°$) y el círculo de alturas iguales se había reducido a un punto así que su radio era cero. En el caso general de la figura 1.3 es evidente que si aumentamos el radio del círculo los observadores situados sobre él verán al Sol a menor altura sobre sus horizontes, de igual manera que si nos acercamos al pie de una farola tendremos que levantar más la vista para ver su bombilla y si nos alejamos del pie tendremos que levantarla menos. Cuando navegamos medimos la altura de los astros sobre el horizonte utilizando el sextante, que no es más que un instrumento capaz de medir ángulos con mucha precisión, anotando la hora exacta del instante de la medida. Puesto que llevamos a bordo el Almanaque Náutico, consultamos en él las coordenadas del centro del círculo de alturas iguales correspondiente a la altura observada. Conocido el centro y el radio (que sólo depende de la altura del astro que acabamos de medir) estamos en condiciones de dibujar sobre la esfera terrestre el círculo de alturas iguales. En el momento de la observación de la altura nos encontrábamos en algún punto de ese círculo. Es decir, acabamos de aprender a tomar una *demora astronómica*, igual que hacíamos con un compás de demoras cuando navegábamos a la vista del faro de Punta Europa. No tenemos pues más que medir simultáneamente la altura de dos astros diferentes para poder dibujar sobre la Tierra dos círculos de alturas iguales. El barco se encontrará en uno de los dos puntos de corte de esos círculos[1], como se muestra en la figura 1.4.

La idea básica detrás de la navegación astronómica es, pues, igual de simple que la del ejemplo de navegación costera discutido más arriba: con los astros nos situamos mirando cómo vemos (altura sobre el horizonte, dirección hacia la que hemos de mirar) desde donde nos encontramos algo (los astros) que de antemano sabemos dónde está (las coordenadas de la proyección del astro sobre la superficie de la Tierra nos las proporciona el Almanaque Náutico). Entonces, se preguntará el lector, ¿por qué hay que estudiar tantas cosas, aparentemente no relacionadas con el tema, para llegar a

[1]Y puesto que los radios de los círculos de altura son enormes, los dos puntos de corte estarán tan separados entre sí que no tendremos dificultades en la práctica para saber en cuál de los dos nos encontramos realmente: no es nada parecido navegar cerca del Caribe, por ejemplo, que hacerlo en las proximidades de Groenlandia.

Figura 1.4: Navegación astronómica.

dominar la navegación astronómica? La respuesta a esta pregunta es que en este caso hay muchos más detalles que es necesario dominar de los que teníamos en el caso de la navegación costera. Una lista (no completa) de esos detalles es la siguiente:

- ✓ La terminología que se usa en astronomía para determinar la posición de los astros en el cielo (las *coordenadas celestes* de los astros). Esa es la terminología usada por el Almanaque Náutico.

- ✓ El estudio del movimiento aparente del cielo, necesario para entender por qué vemos el cielo en un momento dado de una determinada manera.

- ✓ El estudio de la manera precisa de medir el tiempo. El cielo se mueve con respecto al observador y lo hace de manera muy rápida ya que da una vuelta completa cada 24 horas. Así que, con respecto al observador, el centro del círculo de alturas iguales (es decir, la proyección del astro cuya altura ha medido sobre la superficie terrestre) se desplaza hacia el oeste, recorriendo un paralelo, a razón de una vuelta (o sea, $360°$) por día. Eso significan $0,25$ minutos de arco por segundo. Es decir, el centro del círculo se desplaza hacia el oeste aproximadamente 1 milla cada 4 segundos[2]. Así pues, la práctica de la navegación astronómica requiere la medida del instante de la observación con un error no superior a un segundo. ¿Está seguro el lector de saber con precisión qué manera de medir el tiempo es la que utiliza el reloj que lleva en su muñeca ahora mismo? ¿Es esa misma manera de medir el tiempo la que utiliza el Almanaque Náutico para proporcionarnos las coordenadas celestes de los astros en cada instante? La respuesta es no y, naturalmente, tendremos que aprender a manejar la medida del tiempo con absoluto rigor pues, de lo contrario, no sabremos utilizar el Almanaque. Obsérvese que un error en nuestro reloj significa entonces un desplazamiento erróneo de los círculos de altura hacia el oeste o hacia el este (dependiendo de que nuestro reloj esté adelantado o atrasado). Si desplazamos ambos círculos en esa dirección obtendremos unos puntos de corte cuya latitud será correcta (la latitud no varía si nos desplazamos a lo largo de un paralelo) pero tendrán un error en longitud igual a $0,25$ minutos de longitud por cada segundo de error del reloj.

✓ El aprendizaje del manejo preciso del sextante. Como se ha indicado más arriba, el sextante es *solamente* un instrumento capaz de medir ángulos con mucha precisión (un sextante moderno mide ángulos con una precisión de $0,2$ minutos de arco). Pero su precisión se pierde si los espejos que utiliza no están correctamente ajustados, si el sextante no es manejado adecuadamente en el momento de medir, etc. Más aún, la altura de un astro medida con el sextante no puede utilizarse directamente para dibujar el círculo de alturas iguales, de la misma manera que la demora medida con un compás no puede utilizarse directamente para dibujar esa demora sobre la carta. Es necesario corregir la altura medida con el sextante para tener en cuenta efectos no deseados como, por ejemplo, el hecho que que nuestro ojo no se encuentra exactamente al nivel del mar en el momento de la medida, o el hecho de que la atmósfera terrestre curva los rayos luminosos procedentes del astro haciéndolo aparecer más alto de lo que en realidad está, etc.

Así que la idea básica detrás de la navegación astronómica es muy simple, aunque también es cierto que son muchos los detalles concretos que es necesario dominar. Incluso hay más: la idea básica tan simple que hemos explicado es impecable desde el punto de vista teórico pero es impracticable en un barco. En efecto, imaginemos que el globo terrestre que llevamos en nuestra mesa de cartas para dibujar sobre él los círculos de alturas iguales es una reproducción a escala de nuestro planeta en la que, por ejemplo, un milímetro corresponde a una milla náutica en la realidad (aún así este globo no sería seguramente suficientemente preciso para navegar necesitándose una reproducción aún mayor). ¿De qué tamaño sería tal reproducción del globo terrestre? La respuesta es sencilla: 1 milla náutica es, por definición, la longitud de un arco de círculo máximo de la Tierra que sustente un ángulo de 1 minuto. Así pues, como un círculo máximo completo tiene $360 \times 60 = 21\,600$ minutos, resulta que nuestro globo terráqueo ha de tener $21\,600$ milímetros de circunferencia. Es decir, $21\,600/\pi = 6\,875,5$ milímetros de diámetro. Un globo de casi 7 metros de diámetro es, cuando menos, *un poco* incómodo para llevarlo en la mesa de cartas...

[2]Aproximadamente porque $0,25$ minutos de arco corresponden a $0,25$ millas náuticas sólo si el arco es un trozo de círculo máximo. Así que sólo si el astro se encuentra sobre el ecuador, de manera que su proyección recorre el ecuador en un día, la velocidad es la indicada de una milla cada cuatro segundos. De lo contrario habrá que multiplicar por el coseno de la latitud del paralelo recorrido por la proyección del astro, como recordará el lector de sus estudios del concepto de *apartamiento* en la navegación por estima.

Podríamos pensar en la alternativa de dibujar el círculo de alturas iguales sobre la carta náutica, en lugar de hacerlo directamente sobre un globo terráqueo. Pero nos encontramos de nuevo con problemas prácticos, en este caso dos, que invalidan esta posibilidad. Por un lado, dado el tamaño del círculo de alturas iguales, necesitaríamos una carta que cubra una extensión enorme; es decir, una carta de *punto menor* que, en realidad, no es útil para navegar pues no proporciona el suficiente detalle como para hacer una navegación segura[3]. El segundo problema es aún más complejo y se debe al hecho, seguramente conocido por el lector, de que una carta Mercator deforma necesariamente la imagen de aquello que reproduce[4]. El círculo se alturas iguales es un círculo sobre la superficie terrestre pero no sobre una carta Mercator sobre la que aparecerá deformado. Y el cálculo de esa deformación, si bien posible, no es sencillo como para poder hacerlo en navegación con una simple calculadora.

A pesar de los problemas que acabamos de discutir, el concepto de círculo de alturas iguales es el concepto fundamental de la navegación astronómica. Obsérvese que si pudiésemos poner en práctica esta idea tendríamos un medio de situarnos con los astros aunque no tuviésemos la más mínima idea de dónde nos encontramos. Una vez dibujados los círculos de altura solamente tendríamos que mirar si llevamos puesto el traje de agua o el bañador para decidir en cuál de los dos puntos de corte de los círculos de la figura 1.4 nos encontramos. Tendríamos así una especie de *GPS astronómico* capaz de proporcionarnos nuestra posición sin más que observar un par de astros con el sextante[5]. La solución a estos problemas prácticos consiste en utilizar el concepto de círculo de alturas iguales de manera un poco más inteligente, empezando por reconocer que cuando navegamos llevamos siempre una situación de estima S_e *suficientemente aproximada* porque somos unos excelentes capitanes. Si eso es así no necesitamos dibujar sobre la carta todo el enorme círculo de alturas iguales sino tan sólo la pequeña porción que pasa cerca de nuestra situación de estima. Más aún, si nuestra situación de estima S_e en el instante en que medimos la altura del astro fuese exacta; es decir, no está afectada por error alguno de manera que realmente nos encontramos en S_e cuando medimos, entonces cuando dibujemos sobre la esfera terrestre el círculo de alturas iguales correspondiente a la altura que hemos medido obtendremos un círculo que pasa necesariamente sobre S_e, como se muestra en la parte izquierda de la figura 1.5. Pero esa situación ideal no sucederá en la práctica porque nuestra situación de estima estará afectada siempre por algún error. Creemos estar en S_e pero en realidad estamos en algún otro punto más o menos cercano. Así que cuando dibujemos el círculo de alturas iguales lo que ocurrirá en general es algo así como lo que se muestra en la parte derecha de la figura 1.5: el círculo pasará a una determinada distancia de S_e. Lo que sabemos es que en el instante de la medida de la altura del astro estábamos sobre alguno de los puntos del trozo de círculo de alturas iguales próximo a S_e y no en S_e como creíamos. Sabemos incluso algo más. Como hemos discutido más arriba, el radio del círculo de alturas es menor cuanto más alto se encuentre el astro sobre el horizonte del observador. Así pues, si en el mismo instante en que nosotros medimos

[3] Estas cartas se utilizan para la planificación de derrotas oceánicas y no para obtener la posición del barco.

[4] Compárense, por ejemplo, las imágenes de América del Sur y Groenlandia sobre un globo terrestre y sobre una carta Mercator

[5] De hecho, si bien la resolución gráfica del problema de la intersección de dos círculos de altura no es factible en la práctica, el cálculo analítico de las coordenadas de esos puntos puede hacerse con la ayuda de una simple calculadora. Así que el *GPS astronómico* que acabamos de descartar es perfectamente viable en la práctica hoy día. Pero el cálculo de esas coordenadas va más allá de lo que se considera navegación astronómica estándar, seguramente porque cuando se desarrolló esta técnica de navegación no existían calculadoras de manera que el cálculo en la práctica no era viable. Esta cuestión es tratada

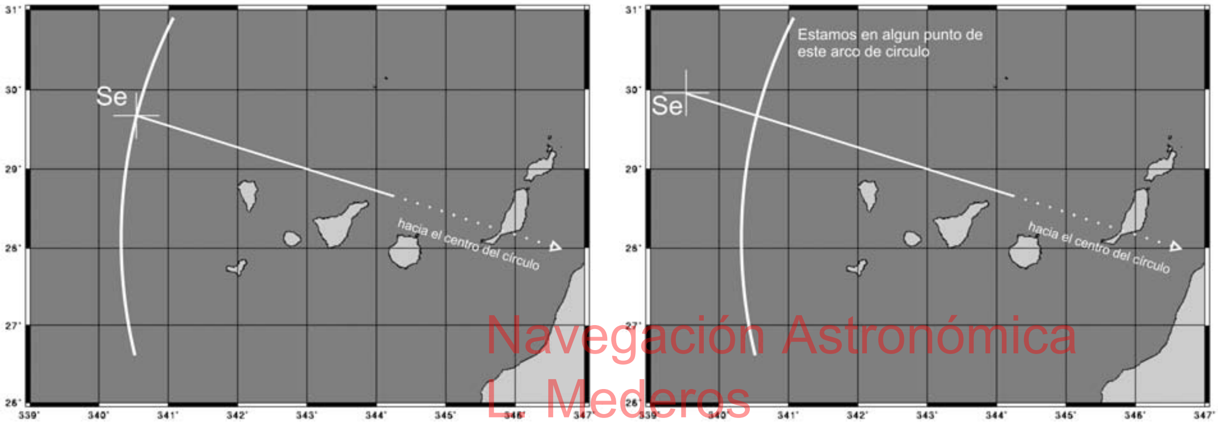

Figura 1.5: No es necesario dibujar el círculo de alturas iguales completo. Basta el pequeño trozo cercano a nuestra situación de estima S_e.

la altura del astro con el sextante otro observador que se encontrase exactamente en S_e hubiese medido la altura del astro habría obtenido una altura menor que la medida por nosotros. Por el contrario, si el círculo de alturas iguales hubiese pasado por detrás de S_e (con respecto al centro del círculo), entonces este hipotético observador situado en S_e habría medido una altura mayor que la medida por nosotros. Como puede observarse, estamos manejando dos alturas simultáneas del mismo astro, por un lado la que hemos medido con el sextante desde nuestro barco y por otro la que mediría el hipotético observador situado en nuestra situación de estima. La primera de ellas la llamaremos *altura verdadera*, a_v, pues no hay duda de que se trata de la verdadera altura del astro pues la acabamos de medir. La segunda la llamaremos *altura estimada*, a_e, pues es la que mediríamos de estar situados en S_e. Como somos unos excelentes capitanes, seguramente la distancia entre S_e y el trozo de círculo de alturas iguales sobre el que en realidad nos encontramos será pequeña y, en cualquier caso, será muchísimo más pequeña que el radio del círculo de alturas iguales que es de miles de millas. Eso significa que en la figura 1.5 hemos exagerado muchísimo la curvatura del círculo de alturas pues, en realidad, estamos viendo tan sólo un trozo muy pequeño de él que, por tanto, veríamos prácticamente como una línea recta, del mismo modo que cuando miramos el mar a nuestro alrededor, por ejemplo, lo vemos como un plano a pesar de ser una porción de superficie esférica, simplemente porque las dimensiones del trozo que vemos son despreciables comparadas con el tamaño de la esfera. Así que en la práctica lo que hacemos es aproximar el trozo de círculo de alturas iguales próximo a nuestra situación de estima por una recta, la *recta de altura*, como se muestra en la figura 1.6. En el instante en que hemos medido la altura del astro nos encontrábamos sobre algún punto de la recta de altura y no en S_e como creíamos. Lo interesante es darse cuenta de que la distancia desde la situación de estima S_e en la que creemos encontrarnos hasta el círculo de alturas iguales no es más que la diferencia $\Delta a \equiv a_v - a_e$. De esta manera somos capaces de dibujar tan sólo el trozo de círculo de alturas iguales que nos interesa que es el que se encuentra próximo a nuestra situación de estima. El resto del círculo no es útil pues sabemos de antemano que no estamos en esa zona. Y lo importante es que hemos conseguido dibujar ese trozo, aproximado por una recta, sin tener que utilizar el centro del círculo que se encuentra a miles de millas de S_e. Esto permite utilizar una carta que cubra

en detalle en la segunda parte de este libro dedicada a navegación astronómica avanzada.

tan sólo unas cuantas millas alrededor de la situación de estima. Esa carta puede ser, por tanto, una carta de punto mayor, suficientemente detallada para navegar con seguridad. Además, podemos obviar el problema de la deformación del círculo al ser representado sobre una carta Mercator pues manejamos una porción tan pequeña de él que la deformación es despreciable. Es decir, hemos resuelto los problemas prácticos que teníamos. Pero hemos de pagar un precio para conseguirlo pues, como es lógico, cuando navegamos no llevamos un segundo observador en nuestras proximidades que se encuentre exactamente en nuestra situación de estima (recuérdese que *nosotros no estamos en* S_e) y que mida a_e con su sextante en el preciso instante en que nosotros medimos a_v con el nuestro. Así que hemos de aprender a *calcular* la altura estimada a_e y, también, la dirección a lo largo de la que el hipotético observador situado en S_e ha de mirar para encontrarse con la vertical del astro (esa dirección se llama el *azimut* del astro)[6]. Y este es un detalle más, y el que más trabajo cuesta a los estudiantes de esta materia, a añadir a la lista de más arriba:

✓ El cálculo de la posición del astro en el cielo con respecto al observador (su altura y azimut) cuando conocemos la situación de éste sobre la superficie de la Tierra (o sea, S_e) y las coordenadas celestes del astro proporcionadas por el Almanaque (o sea, la latitud y longitud de la proyección del astro sobre la superficie terrestre en el instante de la medida). Este cálculo se realiza resolviendo un triángulo esférico (el *triángulo de posición*) utilizando tan sólo un par de teoremas de la trigonometría esférica (incluso con sólo un teorema sería suficiente para los cálculos básicos necesarios para dibujar la recta de altura) y se trata del único cálculo necesario para la práctica de la navegación astronómica básica.

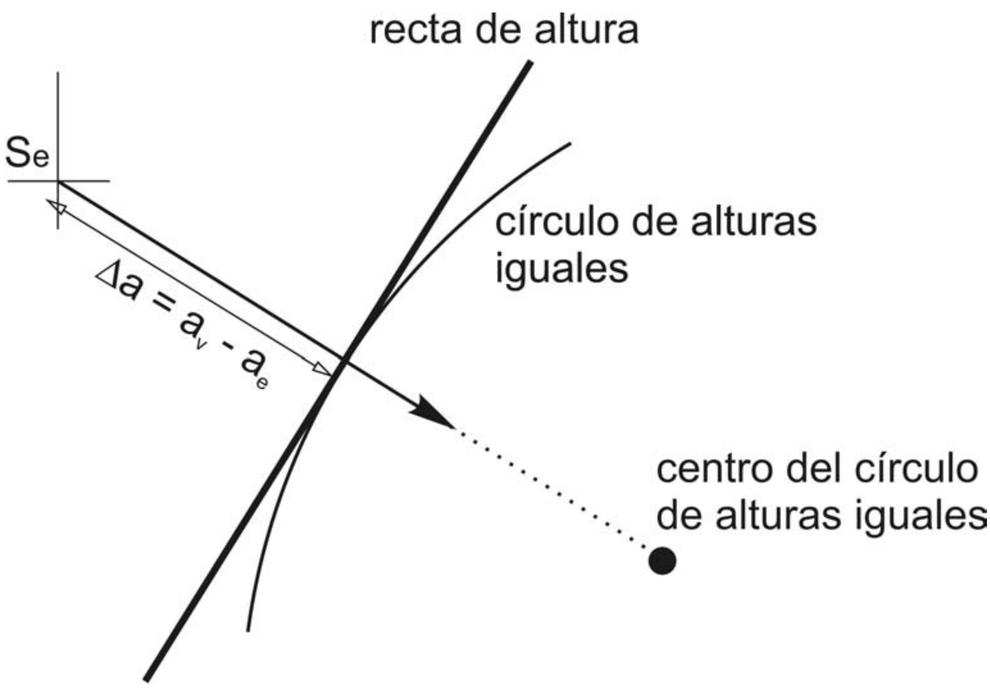

Figura 1.6: Recta de altura.

[6]Pues, como es claro de las figuras, la recta de altura ha de dibujarse a partir de trazar una línea que partiendo desde S_e siga la dirección del azimut del astro. En esa dirección se encuentra el centro del círculos de alturas iguales. Bastará entonces trazar una perpendicular a esta línea a una distancia Δa de S_e para tener dibujada la recta de altura.