



Módulo de batimetrías y
Cartas náuticas de la costa

MANUAL DE REFERENCIA

Baco 3.0



Ministerio de Medio Ambiente
Dirección General de Costas

Universidad de Cantabria UC

G.I.O.C.
Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas



MANUAL DE REFERENCIA

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN	1.1
1.1 Objetivos	1.1
1.2 Contenido	1.1

Capítulo 2. BASE DE DATOS (ORIGEN Y ESTRUCTURA)

2. BASE DE DATOS (ORIGEN Y ESTRUCTURA)	2.1
--	-----

Capítulo 3. PROCESO DE LA BASE DE DATOS

3. PROCESO DE LA BASE DE DATOS	3.1
3.1 Introducción.....	3.1
3.2 Sistemas de coordenadas geodésicas	3.2
3.3 Proceso de conversión de elipsoide	3.3
3.4 Aplicación en Baco.....	3.7

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

El objetivo del manual de referencia es describir el procedimiento seguido en Baco para generar un proyecto a partir de cartas y batimetrías digitalizadas.

1.2 Contenido

El manual está estructurado en una primera parte en la que se describe el origen, naturaleza y estructura de la base de datos de cartas náuticas y batimetrías en la Costa Española.

La segunda parte describe cómo se procesa la información de la base de datos, para convertirla de un sistema de referencia en coordenadas geográficas a otro de proyección plana UTM.

CAPÍTULO 2

BASE DE DATOS (ORIGEN Y ESTRUCTURA)



2. BASE DE DATOS (ORIGEN Y ESTRUCTURA)

Baco aporta imágenes y datos batimétricos, todos ellos necesarios dentro de la operativa del SMC. Toda esta información se obtiene a partir de una base de datos de cartas náuticas y archivos de batimetría.

Las imágenes de cartas que se incluyen en la base de datos, provienen del catálogo de cartas náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina. Se han escaneado alrededor de 170 cartas, las cuales han sido almacenadas en formatos de imagen tipo (PNG).

A partir de estas imágenes y con la ayuda del SMC, se han digitalizado para cada una de estas cartas náuticas, las isolíneas de batimetría, junto con la línea de costa (contorno mar/tierra). Los puntos batimétricos y líneas de costa de cada carta, se han almacenado en archivos ASCII, del tipo (batimetría XYZ) para los primeros y del tipo (BLN) para las costas.

CAPÍTULO 3

PROCESO DE LA BASE DE DATOS



3. PROCESO DE LA BASE DE DATOS

3.1 Introducción

Dado que el sistema de referencia de las cartas náuticas y batimetrías de la base de datos es distinto al sistema de referencia con el que se trabaja dentro del SMC, es necesario llevar a cabo una serie de transformaciones dentro del Baco. A continuación se da una breve descripción sobre sistemas de referencia geodésicos, y posteriormente se explica cuales son las transformaciones que se aplican a la base de datos dentro del programa Baco. Las descripciones geodésicas e información relacionada provienen de documentos del Instituto Geográfico Nacional (Servicio de Programas Geodésicos).

3.2 Sistemas de coordenadas geodésicas

Cualquier punto genérico (P) respecto a un elipsoide del globo terráqueo (ver la siguiente figura “sistemas de coordenadas”), puede ser expresado mediante dos sistemas de coordenadas:

Coordenadas cartesianas geocéntricas (X, Y, Z)

Tomando un sistema de ejes tridimensional ortogonal cuyo origen coincida con el centro de masa de la Tierra, el eje Z coincida con el eje de rotación, el eje X como intersección del plano del ecuador con el meridiano de Greenwich, y el eje Y en el plano del ecuador y que forme con el eje X un ángulo de 90° en sentido directo, la componente Z será la distancia entre P y su proyección ortogonal P'' sobre el plano del ecuador, y las componentes X e Y las distancias de la proyección ortogonal P'' a los ejes Y y X respectivamente. Estas coordenadas se usan en Geodesia Espacial y son muy útiles en los cambios de sistemas geodésicos de referencia.

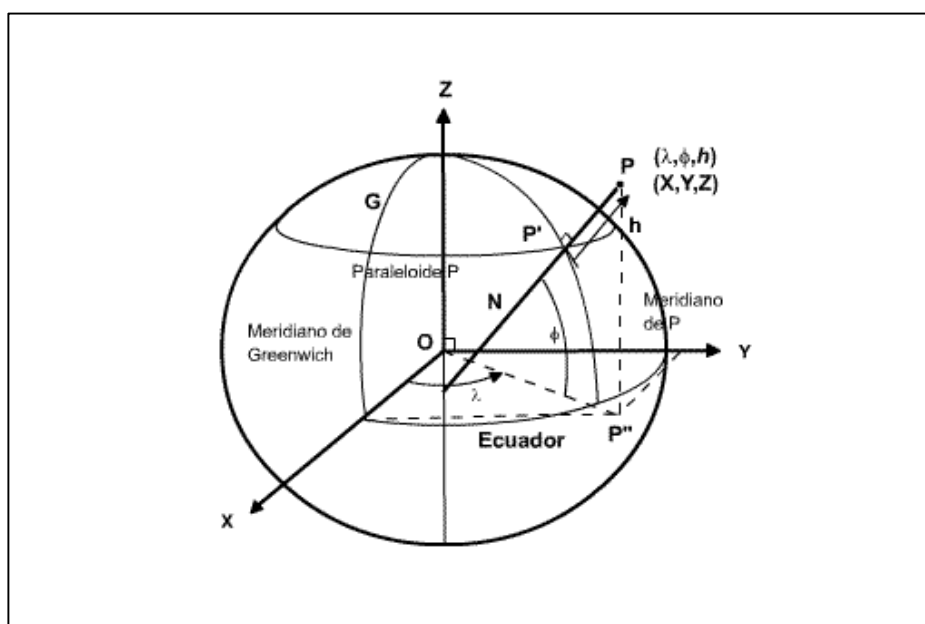
Coordenadas geodésicas (l, f, h)

Tomando como referencia la normal al elipsoide que pasa por el punto genérico P, el ángulo que forma esta normal con el plano del ecuador es la latitud ϕ , el ángulo que forma el meridiano que contiene a P con el meridiano de Greenwich origen es la longitud λ , y la distancia entre P y su proyección sobre el



elipsoide, P' , a lo largo de la normal es la altitud elipsoidal h . No debemos confundir la altitud elipsoidal, h , con la altitud ortométrica, H , que normalmente lleva la cartografía, pues pueden diferir en decenas de metros, valor que corresponde a la ondulación del geoide.

Existen muchos elipsoides de referencia, pero los dos más utilizados son el sistema geodésico mundial (WGS84 ó GRS80) y el sistema internacional, también denominado Datum europeo (Postdam). Para cada uno de estos elipsoides es posible definir los anteriores sistemas de coordenadas, los cuales por supuesto, no coinciden entre unos y otros.



Sistemas de coordenadas

Las cartas náuticas y sus correspondientes batimetrías digitalizadas de la base de datos, se encuentran en una representación horizontal *plana* o también denominada de proyección cartográfica, del tipo Mercator, cuyo sistema de componentes se denomina coordenadas geográficas en grados (λ, ϕ), que son las mismas coordenadas geodésicas pero sin la altitud elipsoidal, h .



Por otro lado, el sistema de referencia con el cual se trabaja dentro del SMC, es también una representación plana de uno de los dos sistemas de coordenadas descritos anteriormente. El más utilizado es el sistema Universal Transverse Mercator (UTM), el cual se define a partir de dos componentes x e y en metros, minúsculas para distinguirlas de las coordenadas cartesianas geocéntricas.

Esta diferencia en sistemas de coordenadas entre las cartas náuticas, con respecto al sistema en que se trabaja dentro del SMC, implica que cada vez que se genera un proyecto es necesario convertir las componentes geográficas a UTM, tanto para las imágenes de las cartas, como para los puntos batimétricos. Esta conversión es sencilla, dado que existen relaciones para pasar de un sistema a otro, siempre y cuando se conozca el elipsoide de referencia.

Las cartas náuticas españolas se encuentran referenciadas, en su gran mayoría, con respecto a los elipsoides (internacional y WGS84). No obstante, existe un problema con ciertas cartas náuticas de las cuales se desconoce su elipsoide o no está claramente referenciado. Estas cartas no han sido incluidas dentro de la base de datos, hasta que no se tenga certeza de su sistema de referencia.

3.3 Proceso de conversión de elipsoide

Tal como se dijo anteriormente, podemos convertir el sistema de coordenadas geográficas de las cartas náuticas y batimetrías del Baco (las cuales están referenciadas a un elipsoide dado), a un sistema de referencia UTM en el SMC, manteniendo el mismo elipsoide de referencia. Sin embargo, existen situaciones donde necesitamos que los datos dentro del SMC en UTM estén referenciados a un sistema o elipsoide diferente al original en el Baco.

Es el caso cuando queremos combinar dentro del SMC una batimetría de otra fuente, con la batimetría del Baco. Hoy en día, una gran mayoría de las batimetrías de detalle se llevan a cabo utilizando sistemas de posicionamiento GPS. Las observaciones se hacen mediante el sistema GPS, que están generalmente referidas al elipsoide WGS84, el cual aporta coordenadas geodésicas referidas al elipsoide WGS84: latitud, longitud y altitud elipsoidal, h , o bien cartesianas geocéntricas X , Y , Z . Las cuales se transforman sin ningún



problema a coordenadas planas, x e y, en una proyección conforme determinada, generalmente en España la UTM. Sin embargo, hoy en día existen algunos GPS que permiten al usuario seleccionar el tipo de elipsoide de referencia.

Si las cartas y batimetrías del Baco se encuentran con el elipsoide, por ejemplo internacional, es necesario un procedimiento de conversión entre elipsoides para evitar resultados erróneos (que pueden llegar a ser de centenares de metros).

Existen numerosos procedimientos y métodos para convertir coordenadas, entre sistemas de referencia, que varían en precisión y desarrollo. Todos son aproximados. El método más general responde al modelo mixto de transformaciones geodésicas y cartográficas, (1):

$$(\lambda, \phi, h)_{\text{Inter.}} \Leftrightarrow (X, Y, Z)_{\text{Inter.}} \Leftrightarrow (X, Y, Z)_{\text{WGS84}} \Leftrightarrow (\lambda, \phi, h)_{\text{WGS84}} \Leftrightarrow (x, y)_{\text{UTM-WGS84}} \quad (1)$$

que representa el camino completo desde las coordenadas geográficas (en sistema internacional) latitud, longitud y altitud elipsoidal que aporta el Baco, hasta las coordenadas planas que requiere el usuario en el SMC.

El cambio entre sistemas se efectúa normalmente entre coordenadas cartesianas geocéntricas: etapa segunda del modelo (1). Si se dispone de coordenadas geodésicas, en el sistema de partida, se deberá transformar primero en cartesianas geocéntricas: etapa primera del modelo (1). Si lo que se dispone son coordenadas en alguna proyección, habrá que transformar primero a geodésicas y después a cartesianas. Por otro lado, algunos receptores GPS aportan una lista de sistemas geodésicos de referencia para realizar estas transformaciones, a través de unos parámetros generales previamente calculados. Algunos incluso permiten al usuario introducir su propio juego de parámetros, en forma de translaciones, rotaciones y factor de escala para una transformación de semejanza en tres dimensiones.

Esta transformación (1) suele ser la más utilizada, pues presenta la ventaja de poder ser utilizada en los dos sentidos, es decir, los siete parámetros de esta transformación sirven para transformar las coordenadas referidas en un sistema A a otro sistema B, o del sistema B al sistema A.



Volviendo al problema general, en la primera etapa del modelo (1), las coordenadas geodésicas (λ, ϕ, h) pueden ser transformadas en cartesianas (X, Y, Z) en el sistema internacional a través del modelo típico (2):

$$\begin{aligned} X &= (N + h) \cos I \cos f \\ Y &= (N + h) \operatorname{sen} I \cos f \\ Z &= \left((1 - f)^2 N + h \right) \operatorname{sen} f \end{aligned} \quad (2)$$

Dado que solo nos interesa la conversión de coordenadas horizontales, suponemos la altitud elipsoidal $h = 0$.

Donde, f , representa el aplamamiento propio del elipsoide en que se está trabajando, en nuestro caso el internacional; y N el radio de curvatura en la elipse meridiano del punto que se esté considerando, que en función del aplamamiento f y el semieje mayor del elipsoide a a reflejado en la figura anterior, se puede expresar por la ecuación (3), cuyos valores se reflejan en la tabla adjunta.

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - f(2 - f) \operatorname{sen}^2 f}} \quad (3)$$

Sistema Geodésico	Elipsoide Asociado	a (m)	b (m)	f= (a-b)/a
ETRS89	WGS84	6378137,000	6356752,314	1/298,257222101
ED50	Internacional	6378388,000	6356911,946	1/297,0

En la segunda etapa, paso de coordenadas cartesianas (X, Y, Z) en internacional a coordenadas cartesianas (X, Y, Z) en WGS84 se puede emplear, la transformación de semejanza de siete parámetros que integra las tres componentes del desplazamiento entre los orígenes de ambos sistemas, las tres rotaciones una para cada eje, y el cambio de escala. Responde al modelo matricial (4):

$$y = \mu R x + D x_0 \quad (4)$$

expresado en coordenadas cartesianas geocéntricas donde, x , representa el vector del punto en el sistema de partida, μ es el cambio de escala, R la matriz de

rotación en forma de funciones trigonométricas de los tres ángulos de rotación y Dx_0 la matriz de los tres desplazamientos. El modelo queda de la forma (5):

$$\underbrace{\begin{matrix} X \\ Y \\ Z \end{matrix}}_{\text{WGS84}} = m^{-1} \begin{pmatrix} 1 & Rz & -Ry \\ -Rz & 1 & Rx \\ Ry & -Rx & 1 \end{pmatrix}^{-1} \underbrace{\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}}_{\text{Internacional}} - \begin{pmatrix} DX_0 \\ DY_0 \\ DZ_0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

donde las rotaciones R_x , R_y y R_z deben entrar en radianes, y los desplazamientos ΔX_0 , ΔY_0 , ΔZ_0 en metros. Al ser los ángulos de rotación muy pequeños, éstos se suelen expresar en segundos sexagesimales. El factor de escala es una cantidad muy próxima a la unidad y se suelen expresar en partes por millón (ppm) sobre la unidad. En el modelo (5) el valor de μ debe de entrar de la forma (6):

$$m = 1 + (\text{ppm}) \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

Los parámetros de transformación que el IGN ha obtenido a través de las redes IBERIA95 y EUREF89 son:

Fecha de cálculo: IGN/SPG 02-2000	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	(ppm)	R_x (“)	R_y (“)	R_z (“)
Parámetro	132.1099	94.3367	164.3057	-9.5653	-1.0145	-0.0189	-1.1906
Desv. Estándar	0.4623	0.5595	0.5208	0.0365	0.0140	0.0212	0.0152

Estos parámetros ofrecen en la transformación de los puntos un valor aproximado de 1 metro en planimetría y 2 metros en altimetría ambos al 95% de intervalo de confianza. Estos parámetros se irán refinando en cuanto se conozcan con mejor precisión las coordenadas internacionales de los vértices geodésicos portugueses que han intervenido en el ajuste.

Una vez se tienen las coordenadas geocéntricas (X, Y, Z) en el sistema WGS84, se convierten a coordenadas geodésicas en el sistema internacional, mediante las relaciones:



$$I = \arctan(Y / X) \quad (7)$$

$$f = \arctan \left[\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left(1 - \frac{(2-f)fN}{N+h} \right)^{-1} \right] \quad (8)$$

$$h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos f} - N = 0.0 \quad (9)$$

Finalmente, quedaría por resolver la transformación cartográfica al sistema proyectivo, para lo cual se deberán utilizar las fórmulas correspondientes del paso de coordenadas geodésicas a coordenadas planas del sistema proyectivo elegido, obteniéndose así las coordenadas planas en la proyección UTM o cualquiera que sea (x, y).

3.4 Aplicación en Baco

Como ya hemos visto, el programa Baco permite crear un proyecto SMC incluyendo las cartas náuticas y batimetrías digitalizadas de un área de trabajo en el litoral español. El usuario puede elegir el sistema de referencia, entre WGS84 (sistema Geodésico Mundial) o el internacional (Datum europeo Postdam), en el cual desea representar sus coordenadas UTM del proyecto.

Los puntos batimétricos de cada carta son transformados uno a uno aplicando las correspondientes conversiones. Por el otro lado, las cartas también son transformadas píxel a píxel, para conseguir superponer los puntos y las imágenes dentro del SMC.

El programa, por defecto, da al usuario la opción de crear un proyecto con un sistema de referencia internacional, pero en el caso dado de que quiera incluir una batimetría de detalle, debe saber qué sistema de referencia tienen estos datos, para evitar discrepancias a la hora de mezclarlos.