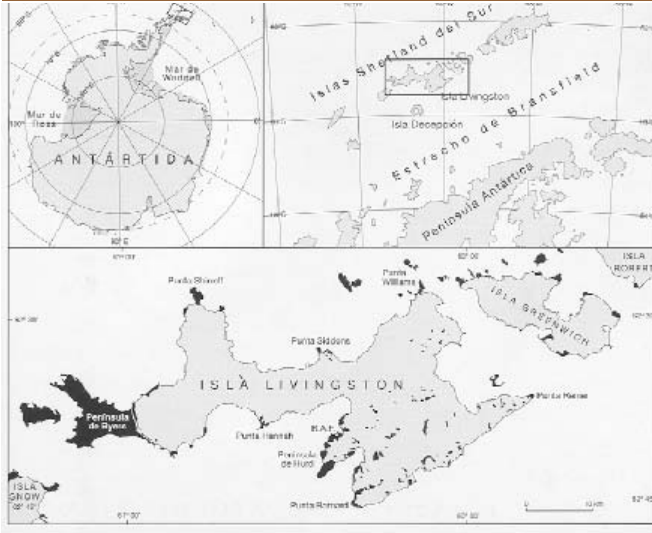


La Antártida, meteorología y actividades científicas españolas

Manuel Bañón García. Instituto Nacional de Meteorología



Situación geográfica de la Base Antártica Española "Juan Carlos I"

La Antártida es la última *Terra Incognita* del planeta y sólo recientemente se ha llegado a un conocimiento más preciso de la misma gracias a las nuevas técnicas científicas y al uso de los satélites artificiales.

Desde el punto de vista científico tenemos a nuestra disposición un gigantesco laboratorio físico, químico y biológico único en el planeta. Esta gran región al sur del paralelo 60 es una unidad geográfica compuesta por una fase terrestre, el continente, y una marina conocida como Océano Antártico.

Físicamente, y por tanto desde el punto de vista climático, el primer elemento diferenciador respecto al Ártico se puede describir en la forma siguiente: La región del Polo Sur es un continente recubierto de hielo y rodeado por el océano y la del Polo Norte es el océano cubierto de hielo y rodeado de continentes. Por dar unas primeras cifras podemos decir que el continente Antártico abarca una extensión de 14 millones de km², cubierto de hielos en un 98%, que por los procesos de congelación-deshielo marino aumentan la superficie helada a 25 millones de km² durante el invierno.

Para la Meteorología en particular esta Región de la Tierra tiene una importancia capital, ya que toda la circulación atmosférica del planeta viene afectada por la característica más famosa del lugar, el aire frío que se asienta sobre el continente y en sucesivas oleadas escapa hacia las bajas latitudes, llegando, a veces, a las regiones tropicales.

El aspecto general del continente es el de una gran meseta interior, meseta Polar, que ocupa la llamada Antártida Oriental y cuya altura en el mismo Polo Sur geográfico es de 2800 m, y una segunda zona que es la Antártida occidental con una estrecha península que sobresale hacia el N, frente a Sudamérica, y dos profundas recortes en sus costas que forman los mares de Ross y Weddell.

Otro importante hecho reside en que es el continente con mayor altura media de su superficie sobre el nivel del mar,

unos 2300 m, con una capa media de espesor del hielo de 2000 m, con lugares con espesores de 4500m, estando sólo el 3% de la superficie libre de hielo en verano (90% de agua dulce disponible en el planeta). Esta elevada altura permite que la radiación solar sobre la superficie sea muy elevada durante el verano. La capa de hielo fluye constantemente hacia la costa desde el interior.

Con relación a las características climáticas de la Antártida, de una manera simple, podemos definirla como sumidero de calor planetario. El flujo cálido provocado por la convección en las bajas latitudes, debe ser compensado por un flujo frío de retorno que equilibre el balance de energía. Esta sencilla suposición define el papel global del sistema antártico.

Las peculiaridades climáticas de la Antártida son muchas aunque pueden resumirse en: la consecución de las más bajas temperaturas del planeta, las más altas velocidades del viento y la presencia del mayor desierto mundial.

Breve historia de la investigación antártica española anterior a la Base Antártica Española

Las primeras investigaciones sobre la Antártida hechas por españoles se remontan a los Años 1960, 1962 y 1965 con la presencia del meteorólogo Luis Aldaz formando parte del personal norteamericano del U.S. Weather Bureau en las bases Byrd y Polo Sur, y continúan con otro meteorólogo, Manuel Puigcerver, a mediados de los años 60, trabajando con los chilenos en bases de la Península Antártica. Después existe un largo periodo de inactividad hasta mediados de los 80, en que, primero el geofísico Francisco Navarro hace una estancia de un año en Polo Sur con un grupo de la Universidad de California, los biólogos españoles Ballester, Castellví y Marta Estrada, comienzan a trabajar con los argentinos y polacos y el Instituto español de Oceanografía (IEO) colabora con científicos chilenos.

Estas últimas actividades sirven para el inicio institucional de la actividad científica española en la Antártida y en el ver-

Rompehielos argentino "ALmirante Irizar" (foto M Bañón)



no 1986-87 el IEO realiza una expedición científica en la que intervienen diferentes disciplinas y organismos, para la que se utilizan dos buques pesqueros españoles, el Nuevo Alcocero y Pescapuerta. Al mismo tiempo Ballester y Castellví están trabajando con los polacos y desembarcan, por primera vez, en lo que será el emplazamiento de la actual BAE Juan Carlos I. Independientemente, hay actividad de otros científicos y militares en territorio antártico apoyándose en la infraestructura de otros países.



Primer observatorio meteorológico en la BAE "Juan Carlos I"
(foto M. Bañón)

Apertura de la BAE en enero de 1988

En el verano 1987-88 la actividad científica española despegaba y somos varios grupos los que estamos trabajando en la zona. Los meteorólogos Juan Cisneros y Jesús de Dios efectúan ozonosondeos en Marambio, el vulcanólogo Ramón Ortiz está en "Decepción" con los argentinos; un grupo de meteorólogos dirigidos por Cisneros, entre los que me encuentro, hace la campaña del rompehielos argentino Irizar, hay marinos españoles en el buque Bahía Paraíso, se fleta el buque chileno Río Baker con una expedición del Ministerio de Defensa y el IEO y se instala la BAE "Juan Carlos I" en Bahía Sur, en la isla Livingston.

El desembarco e inicio de actividades de la Base Juan Carlos I se realiza el 6 de enero de 1988 por un equipo de técnicos formado por cuatro personas y otro científico, con otros cuatro componentes del CSIC dirigidos por Ballester y Castellví y se lleva a cabo gracias a la colaboración de personal polaco de la base Artowsky.

El 13 de febrero parten los científicos del CSIC y nos incorporamos dos personas del INM que montamos rápidamente el observatorio meteorológico. Hasta el día 1 de marzo no llegan dos geólogos de IGM y un glaciólogo de la Escuela de Minas que poco pueden hacer hasta el 6 de marzo en que se cierra la BAE. Durante ese periodo la base fue compartida por parte del equipo del Río Baker, que realizó los primeros estudios hidrográficos y geodésicos en la Bahía Sur.

En septiembre de 1988 España se incorpora como miembro consultivo del Tratado Antártico.

Primeros proyectos y campos de investigación

La siguiente campaña, se puede considerar ya como aquella en la que los programas de investigación comienzan a tener mayor entidad. Todos los campos de Ciencias de la Tierra

comienzan a aparecer respaldados por equipos de investigación de distintos organismos españoles. La geodesia y geofísica continúan en manos de personal del Observatorio de San Fernando, del CSIC y el IGN, la glaciología, con proyectos limitados por la logística existente, repite visita de la mano de Adolfo Eraso, participa un equipo de ictiólogos del CSIC y comienzan los estudios de liquenología. Por otra parte, los meteorólogos instalamos una estación meteorológica automática y reanudamos las observaciones y la transmisión de datos en tiempo real a la comunidad mundial desde la estación sinóptica 89064 abierta el año anterior, además, se comienzan a realizar sondeos termodinámicos y ozonosondeos. Simultáneamente, el ministerio de Defensa comienza a levantar mapas de la zona adyacente a la Base.

Aunque en la campaña 88-89 había trabajado un ictiólogo argentino, Aldo Tomo, éste se encontraba en el CSIC y se puede decir que la entrada en el mundo de la comunidad internacional de la ciencia antártica se produce en la tercera campaña con la participación de la Universidad de Düsserdoff, en colaboración con la Complutense, que inician estudios sobre liquenología en uno de los programas que mejores resultados ha dado y que durante 15 años ha mantenido una estación micrometeorológica permanente.

Desde el primer momento los grupos de investigación españoles que trabajan en Ciencias de la Tierra y Biología comienzan a interesarse en las distintas facetas de su trabajo. La meteorología había sido la primera después de los primeros pasos de la microbiología, pero siguen ictiólogos, glaciólogos y liquenólogos y se hacen los primeros reconocimientos de la isla por geólogos y geomorfólogos. Simultáneamente se utiliza la base para estudios sísmicos y geodésicos y el Ministerio de Defensa y el IGN realizan los trabajos más urgentes de levantamientos cartográficos, hidrográficos y topográficos de la base y alrededores, que posteriormente se ampliarían al resto de la isla.



El Hespérides en la BAE "Juan Carlos I". (foto M. Bañón)

Pero esta actividad implica mucho movimiento de personal que hasta el momento ha cubierto en el mar el buque Las Palmas y las zodiacs existentes en la Base, y en tierra el esfuerzo de los técnicos y científicos.

Logística existente en la BAE y evolución de la misma

La base se está quedando pequeña desde su nacimiento en habitabilidad y en capacidad de movimiento y los científicos no pueden realizar gran parte de los proyectos deseados por la carencia de la logística necesaria. La primera parte se solucio-

na en el verano 89-90. Con ayuda de logísticos polacos se amplía la base y se mejora parte de sus infraestructuras. El resultado más importante es la ampliación de los laboratorios, que pasan de un módulo a tres, más una biblioteca. La segunda parte se solucionará dos años después con la botadura del Hespérides.

Con todo, durante esa época se hacen las primeras exploraciones del glaciar Hurd, Bahía Falsa, Punta Barnard, Punta Ereby y Hannah y Byers, pese al poco personal logístico y los escasos medios existentes.

La entrada en servicio del Hespérides da un salto cualitativo y cuantitativo a la actividad científica de la BAE. Se aumenta la capacidad de transporte de material y personal con medios propios y además permite fijar de manera clara calendarios de actividades y objetivos a cubrir. Se comienzan a tener motos de nieve operativas y se piensa en la construcción un refugio de montaña a pie de glaciar que se llevaría a cabo a mediados de los 90. De ello resulta una anécdota como la escalada del monte Friesland por Francesc Savat y Jorge Enrique en diciembre de 1992.

Durante estos años, se han mantenido programas de investigación de manera continua en sísmica, meteorología, liquefacción, geodesia y geología, que en ocasiones han necesitado de campamentos de varios días y de movimientos en glaciar y mar, complicados para aquel momento.

Es necesario resaltar la especial necesidad de la logística en la investigación en la Antártida. El movimiento en glaciar necesita de montañeros expertos, en el mar de buenos patrones, el material y el personal de barcos que lo transporten, pero también hace falta el mecánico que solucione los problemas que surgen o el cocinero que haga que el personal esté contento durante la campaña y lo relaje en los momentos malos. No faltaba en aquellos momentos el radio que permitía comunicarnos con España u otras estaciones antárticas y se precisa la presencia del barco que nos ceda el combustible necesario para generadores, zodiacs o motos.

Sin todo ello, la investigación no es factible o se consiguen resultados de baja calidad. A ello hay que añadir un buen laboratorio que te permita trabajar con las muestras in situ. Y el máximo sería la presencia de un helicóptero que permitiera los movimientos rápidos de personal y material en la isla.

De una presencia de diez a doce personas, con la que se empezó en la BAE, hemos pasado en la actualidad a una presencia que varía entre las dieciseis y veinticinco personas, de las cuales suele haber un mínimo de once técnicos que se ocupan de motores, montaña, mar, cocina, informática, medio ambiente y comunicaciones. Ello ocasiona que la actual base tenga problemas para albergar a tanto personal, aparte de los inherentes a los 20 años pasados desde su construcción.

Paso al trabajo en glaciar, mar y campamentos

A partir del verano 92-93, ya se disponía de los medios necesarios para una investigación que tuviera más amplitud de miras. Ello permite, fundamentalmente, dedicar proyectos de más envergadura al estudio del glaciar, por parte de la Universidad de Barcelona (Calvet), con estudios de dinámica glaciar. Se inicia un proyecto que estudia los niveles de radiactividad existentes en el hielo y apoyado en la BAE, también se intenta localizar, al norte de la isla y conjuntamente con los

chilenos, los restos del navío San Telmo. Además, se habían instalado unos generadores eólicos que permitían tener registros sísmicos durante el invierno. La meteorología y el INM seguían presentes todos los veranos mediante una estación automática, la observación manual y las campañas de ozonosondeos realizadas por Cisneros.

El verano 94-95 marca una inflexión en la investigación de la BAE. Se estaban realizando diversos proyectos, entre ellos uno de glaciología con la presencia de Francia, cuando a los pocos días de campaña hay un incendio y la Base queda sin el respaldo del área de mantenimiento. Se queman los motores y talleres. Pese a ello se decide continuar la campaña y con unas condiciones mínimas se pueden llevar a cabo todos los proyectos previstos; como consecuencia, al año siguiente se debe reponer todo lo perdido aunque la base dispondrá a partir de ese momento de unos nuevos generadores más potentes, nuevo sistema antiincendios y talleres más completos.

Por primera vez se dispone durante el invierno 94-95 de registros meteorológicos que pueden ser utilizados por los equipos de investigadores. Además se construye un refugio de montaña a pie de glaciar que permite una mayor movilidad y envergadura en los proyectos que lo necesite.



Ozonosondeo en la BAE "Juan Carlos I" (foto M. Bañón)

Ese verano, Calvet continúa sus estudios de glaciar y, posteriormente, el Observatorio del Ebro inicia sus campañas de sísmica de reflexión y comienza a preparar un observatorio geomagnético que funcione durante todo el año.

Hemos pasado de programas que sólo pueden desarrollarse con recursos muy limitados a programas con más amplias miras. Además es normal la presencia de investigadores extranjeros: alemanes, franceses, chinos, rusos y portugueses formarán parte habitual de las campañas antárticas todos los veranos. La base pasa de tener una ocupación habitual de doce personas, (cuatro o cinco de mantenimiento) a catorce o quince, con los problemas logísticos que conlleva. Se realizan 6 o más proyectos cada año.

Uno de los principales logros es el conseguir de forma rutinaria, mediante el uso de la energía eólica y solar, mantener registros continuos de meteorología y geomagnetismo, que se ampliarán posteriormente a la sísmica.

Pero faltaba un paso cualitativo importante. Hasta ese momento se habían realizado algunos proyectos en el mar, pero es en la campaña 97-98 cuando se inicia el proyecto **EASIZ**, sobre ecología litoral, que implica un movimiento continuado y rutinario para conocer los parámetros marinos de la bahía. Se debe por tanto reforzar el equipamiento marino de

la base e incorporar habitualmente un científico, posteriormente un técnico, que se ocupe de esta actividad. Este proyecto continúa actualmente.

Un reto mayor supone el proyecto **ESEPAC**, que se inicia a modo de prueba con la conjuntamente con el Hespérides en la campaña 98-99 y se termina al año siguiente, y que supone unas necesidades logísticas muy importantes, cuyo fin es el estudio de un modelo de producción planctónica en la costa



Observatorio meteorológico en la BAE "Juan Carlos I" (foto M. Bañón)

Antártica basado en los flujos de carbono. Además se continúan los trabajos de glaciología basados en los estudios anteriores con perforaciones y sistemas de ecorradar, así como estudios de radiación y balance de energía en el sistema tierra-atmósfera, estación meteorológica en el glaciar, geomorfología etc., que implican algunos campamentos en zonas de la península de Hurd, en Byers o en Shirreff. En la campaña 98-99 se comienzan a enviar datos de geomagnetismo y meteorología en tiempo real a los organismos correspondientes mediante transmisión vía satélite.

En el verano 99-00 se instala un elemento importante que va a facilitar el trabajo científico: un GPS diferencial.

Pero hay dos proyectos de gran envergadura que se realizan a partir de 2000. El que Francisco Navarro realiza en 2001-02 y durante el que se estudia, mediante el sistema de ecorradar, la estructura de gran parte de los glaciares de la isla con lo que implica el movimiento durante varias semanas por toda la isla.

El segundo es el proyecto **LIMNOPOLAR**. Un equipo interdisciplinar formado por biólogos, matemáticos y físicos intenta determinar los ecosistemas acuáticos existentes en los lagos y riachuelos de la Península de Byers y su relación con el cambio climático global. Para ello, desde diciembre de 2001, se ha instalado una estación meteorológica y se han tomado muestras in situ estableciendo un campamento durante todos los veranos. El esfuerzo personal y logístico es muy elevado por la dureza de las condiciones y la duración de las estancias.

La meteorología en la BAE y en la Antártida

Aunque ha habido, y los hay, campos de investigación comunes a todas las campañas y científicos que han participado en muchos de estos proyectos, como son la sísmica, o la líquenología, y otros que se han convertido en rutinarios como

el **EASIZ**, si ha habido algo común en todas las campañas es la meteorología. Abrió la base y sigue funcionando un observatorio meteorológico. Esta actividad siempre ha sido atendida por profesionales del INM, excepto la campaña 91-92 en que los datos corresponden a una estación meteorológica automática del CSIC. En un principio, la actividad fue más intensa porque implicaba la observación automática y manual y la transmisión vía radio al Sistema Mundial de Comunicaciones Meteorológicas, además de la realización de ozonsondeos. Posteriormente, desde la campaña 95-96, el INM dejó de enviar personal, pero los jefes de base fueron meteorólogos, Castejón y Bañón, desde el verano 93-94 hasta el 99-00, por lo que se suplió la ausencia de personal dedicado en exclusiva a la meteorología por la atención a las estaciones automáticas y al desarrollo del observatorio por un profesional, aunque por encargo del Plan Nacional de Investigación Antártica.

Es en esta época cuando se hacen algunas mejoras en la estación, se comienzan a tener datos de invierno y del glaciar y finalmente se comienzan a enviar los datos a través del Meteosat al Sistema Mundial de Comunicaciones Meteorológicas. Se instalan durante algunos años estaciones meteorológicas en el glaciar que proporcionan registros de verano y, aunque menos completos, de invierno. Un paso importante consiste en la ampliación del observatorio a la medida de radiación solar global, directa, difusa, UVAB, albedo y neta, aumentada después a UVB. Además, la Unidad de Tecnología Marina, que se había hecho cargo del mantenimiento de la BAE en el 99-00 instala en 2001 una nueva EMA.

En diciembre de 2001, la toma de datos meteorológicos se amplía a Byers, ya que, con la participación en el proyecto **LIMNOPOLAR** de M. Bañón, también se instala una estación que está funcionando permanentemente desde entonces.

Hay una mejora importante en 2005, cuando el INM instala dos nuevas EMAs en Juan Carlos I y Gabriel de Castilla, que permiten que la observación durante el invierno tenga más



EMA del proyecto LIMNOPOLAR (foto M. Bañón)

garantías. Además, los Ministerios de Medio Ambiente y de Educación y Ciencia alcanzan un acuerdo por el que el INM se encarga de planificar y ejecutar las actividades meteorológicas operativas y de apoyo a la investigación que sean necesarias en las Bases Antárticas Españolas.

Una nueva actuación del INM tiene lugar en la campaña 2006-07, en la que instala para el proyecto **SIMRAD**

(Dinámica de glaciares y georradar) una EMA en el glaciar Johnson con características especiales para el estudio de la ablación de la nieve en esa zona.

Resumen de los proyectos realizados en la BAE

Si hacemos un balance de los distintos proyectos podemos decir que se ha trabajado, de manera más importante, en los siguientes campos de la Ciencia consiguiéndose los objetivos previstos:

Biología marina: El proyecto **EASIZ** es una actividad continua en la BAE desde 1997 iniciada por el PNIA con el



EMA del proyecto SIMRAD (foto M. Bañón)

Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona. Otro proyecto de gran complejidad fue el **ESEPAC**, que trabajó en el desarrollo de un modelo de producción planctónica en la costa Antártica basado en los flujos de carbono. Ha habido otros proyectos de biología marina de menor complejidad logística.

Biología: Quizás uno de los proyectos más ambicioso y complicado ha sido el **LIMNOPOLAR** al que ya hicimos referencia. En él están representados la Universidad Autónoma de Madrid, la de Valencia, CEDEX, INM y varias universidades extranjeras.

Cartografía: Se levantaron mapas de la isla y batimetrías a diversas escalas en las primeras campañas. Este proyecto fue realizado por el IGN, el Servicio Geográfico de Ejército y el Instituto Hidrográfico de la Armada.

Geodesia: Esta disciplina necesita de registros de largo recorrido y ya en la campaña 89-90 se instaló en la BAE un vértice geodésico. El Observatorio de San Fernando y el IGN han sido los principales impulsores, reemplazados por la Universidad de Cádiz. La instalación de un GPS diferencial en el verano 98-99 marcó un cambio cualitativo importante.

Geofísica: Desde el primer momento se tienen registros sísmicos, que pronto se amplían al invierno. La participación del CSIC y el Instituto Andaluz de Geofísica ha sido fundamental. Actualmente hay un registro durante todo el año de sismos.

Geología: El reconocimiento de la isla fue realizado desde el primer momento y el movimiento en la misma ha sido continuo en numerosas campañas. Desde principios de los 90 ya se realizó un mapa geomorfológico de la península de Byers. Fundamentalmente realizado por la Universidad Autónoma de Madrid.

Geomagnetismo: Es una actividad continua desde mediados de los 90 en que se instala un observatorio permanente. Los datos se envían a España vía satélite, aunque actualmente se está en proceso de utilizar las ondas radio para la comunicación durante todo el año. El Observatorio del Ebro es el responsable de esta actividad en la que ahora participa la Universidad de La Salle de Barcelona.

Glaciología: Se puede decir como el de más participación internacional. La Universidad de Barcelona ha colaborado con el instituto geológico Chino, el Laboratorio de Glaciología y Geofísica de Grenoble o la Universidad de Pisa, además de las participaciones con la Politécnica de Madrid con científicos rusos, el Instituto Andaluz de Geofísica o el Cartográfico de Cataluña. Ha logrado establecer la disminución en un 4% de la extensión del glaciar y su adelgazamiento, realizar prospecciones en el hielo y realizar un radiosondeo de gran parte del glaciar de la isla, además del estudio y modelización de la dinámica glaciar existente en la isla.

Liquenología: Desde la segunda campaña se vienen desarrollando proyectos en colaboración con científicos alemanes, que se han completado con proyectos en otros puntos de la Antártida. Desarrollado por la Universidad Complutense.

Meteorología: Es la actividad común en todas las campañas. La observación meteorológica clásica se ha ampliado a la radiación solar, sin olvidar los estudios de ozono estratosférico. El Instituto Nacional de Meteorología o el PNIA con personal del INM se ha ocupado de esta labor.

Micrometeorología y permafrost: Llevado a cabo por las universidades de Alcalá de Henares y de Extremadura, con participación, entre otros, de científicos portugueses, ha sido un proyecto habitual en muchas campañas.

Muchos otros proyectos se han realizado, aunque su presencia no ha sido tan habitual. El **paleomagnetismo**, la **radioactividad**, **geología marina**, **oceanografía** e incluso la **arqueología** han tenido cabida en la actividad científica de la Base Antártica Española Juan Carlos I y le han dado el sentido a su presencia.

Bibliografía

Bañón, M.: "Observaciones meteorológicas en la B.A.E. Juan Carlos I". MMA. Instituto Nacional de Meteorología, 2001.

British Antarctic Service: <http://www.nerc-bas.ac.uk/public/icd/gjma/>

IPCC: "Tercer Informe de Evaluación. Cambio climático 2001. La base científica". PNUMA/OMM, 2001.

IPCC: "Informe especial del IPCC. Impactos regionales del cambio climático: Evaluación de la vulnerabilidad". PNUMA/OMM, 2001.

IPCC: "Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers". PNUMA/OMM, 2007.

King J.C. and Turner J.: "Antarctic Meteorology and Climatology". Cambridge University Press, 1997.

Regional Sensitivity to Climate Change In Antarctic Terrestrial and Limnetic Ecosystems (RISCC) Manual. Version 1.0 25/09/2002.

Schwerdtfeger W.: "Weather and Climate of the Antarctic, Developments in Atmospheric Sciences". Elsevier Science Publishing Company Inc., 1984.

Turner J. and Pendlebury S.: "The International Antarctic Weather Forecasting Handbook Version 1.1". OMM, August 2000.