

Medio siglo del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF)

Parte 1: Del impulso político hasta el inicio de las operaciones

E. RODRIGUEZ CAMINO, AME

El impulso político inicial

Aunque una cooperación europea más estrecha en el campo de la investigación meteorológica y su aplicación práctica en la predicción del tiempo habían sido de interés desde hace mucho tiempo, no fue hasta 1963, cuando en una recomendación a su Consejo, la Comunidad Económica Europea (CEE) –que en aquel momento sólo incluía a seis países– llamó la atención sobre la importancia de la investigación científica y técnica. En el seno del Comité de Estrategia Económica a Plazo Medio de la CEE se creó un grupo de trabajo sobre “Estrategia en el Campo de la Investigación Científica y Técnica” para definir aquellas áreas en las que los esfuerzos en el campo de la investigación aplicada, especialmente en comparación con los esfuerzos de otros países, habían sido evidentemente insuficientes, y aquellas áreas desarrolladas en las que las fuerzas dinámicas dependían estrecha y directamente del desarrollo de la investigación científica y técnica. En 1967, se reconoció que los países europeos individuales no podían desarrollar e implementar sus propias políticas en el campo de la tecnología y que debían unir sus fuerzas y aspirar a una organización común. Los fructíferos ejemplos de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN, por sus siglas en francés), para la investigación en física de partículas, de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EUROATOM), el Observatorio Europeo Austral (ESO, por sus siglas en inglés) para la observación astronómica, etc. mostraban claramente el camino a seguir en la cooperación europea en el campo de la ciencia y la tecnología. En octubre de 1967, el Consejo de ministros de la CEE solicitó al grupo de trabajo que examinara las oportunidades de cooperación en seis campos, uno de los cuales fue la meteorología. Se crearon grupos de expertos para cada una de estas áreas. En los informes se debían tomar en consideración las posibilidades de cooperación con estados europeos no pertenecientes a la CEE (Woods 2005).

El largo camino hacia el Convenio

El grupo de expertos en Meteorología recabó la opinión de los servicios meteorológicos nacionales de los seis países de la CEE sobre la cooperación europea en el campo de la predicción del tiempo. En la larga lista de temas suscitados por los servicios meteorológicos en noviembre de 1967 aparece por primera vez una mención a “la investigación y la predicción del tiempo con mayores alcances utilizando una gran instalación europea de computación”. En el informe presentado por el grupo de expertos en abril de 1969 se propusieron seis temas principales de colaboración, siendo dos de ellos los que obtuvieron la aprobación de los representantes gubernamentales: i) operaciones importantes en meteorología moderna y ii) proyectos de equipos meteorológicos.

Mientras tanto, los propios servicios meteorológicos europeos comenzaron a interesarse directamente por las conclusiones del grupo y para ello lo “colonizaron” con representantes suyos. De hecho, el presidente del grupo, E. Süssenberger, era también el director del Deutscher Wetterdienst, el servicio meteorológico alemán.

El grupo también examinó el desarrollo y funcionamiento de los satélites meteorológicos. Además, el grupo recomendó la conveniencia de invitar a participar a estados no miembros de la CEE. Esto era especialmente importante en el caso del Reino Unido que contaba con una importante experiencia en predicción numérica y tenía unos muy ambiciosos planes para modernizar y reequipar la Met Office. Finalmente, el grupo de expertos dio prioridad a la propuesta de establecer un “Centro Europeo de Computación Meteorológica para Investigación y Operaciones” enfocado en la predicción a medio plazo. Esto último se debió a la visión de los miembros más desarrollados del futuro centro que consideraban que de la predicción a corto plazo podían encargarse los propios miembros y no hacía falta un centro común que debía

dedicarse a plazo medio sólo. Esta cuestión unida a la de otros aspectos como el uso de los análisis del nuevo centro constituiría una discusión recurrente en el futuro.

En mayo de 1970 el todavía no creado centro se rebautizó como “Centro Europeo de Computación Meteorológica” (EMCC, por sus siglas en inglés). El 10 de junio de 1970, un nuevo grupo de expertos sugirió a los ministros, entre otras cosas, que confirmaran el interés demostrado por todas las delegaciones en la creación del EMCC –cuyo objeto sería proporcionar servicios públicos, realizar investigaciones encaminadas a mejorar estos servicios, principalmente en el campo de la predicción meteorológica a medio y largo plazo, y formar al personal científico de los centros meteorológicos nacionales– y que manifestaran su acuerdo en participar en un estudio detallado del proyecto.

Por esa misma época, en 1971, a partir de una iniciativa para promover la investigación europea más allá del marco de la CEE, se creó formalmente la denominada “Cooperación Europea en Investigación Científica y Técnica” (o simplemente COST) que incluía a 19 estados que prácticamente abarcaban todos los de Europa occidental. De hecho, la acción COST número 70 que se desarrolló entre el 1 de enero de 1970 y el 31 de diciembre de 1973 permitió dar los primeros pasos que cristalizarían en la creación años más tarde del ECMWF (Woods 2005). Significativamente, también en ese mismo año de 1971, los servicios meteorológicos nacionales (SMN) europeos reforzaron su cooperación que hasta entonces se reducía a la representación de sus países en la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Con vistas a influenciar y encauzar de forma coordinada decisiones como la de instaurar el ECMWF, se creó una “Conferencia informal de directores de SMN de Europa occidental (ICWED por sus siglas en inglés) que se reunió por primera vez en Lisboa en 1971, poco después de la reunión del comité de la Acción COST 70,

Medio siglo del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF) Parte 1: Del impulso político hasta el inicio de las operaciones



Participantes en la reunión GARP que se celebró en la primavera de 1971 en el Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), Princeton, New Jersey, EE. UU.: 1 Joseph Smagorinsky; 2 Frederick G. Shuman; 3 Syukuro Manabe; 4 Kikuro Miyakoda; 5 Akira Kasahara; 6 Yale Mintz; 7 Norman Phillips; 8 Ian Rutherford; 9 David Williamson (para simplificar, sólo aparecen identificados los participantes mencionados en el texto y que tuvieron relación estrecha con el futuro ECMWF. Fuente: Wikipedia)

también en la capital portuguesa.

En Estados Unidos ya se habían alcanzado resultados muy prometedores en las predicciones a medio plazo. El Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) realizó un análisis de 12 predicciones en enero entre 1964 y 1969 utilizando un modelo hemisférico con una resolución horizontal de 270 km en latitudes medias y nueve niveles verticales donde se mostraba que la correlación entre las predicciones y las observaciones del geopotencial en 500 mb se mantenía positiva hasta el día 10, al igual que la pericia de la predicción de las ondas de Rossby de números de onda entre 3 y 5, si bien la pericia de las ondas más largas (número de onda 1 y 2) era menor. No obstante, se observaron problemas con la temperatura en la estratósfera polar, que era más baja de lo observado, y con la excesiva intensidad del chorro subtropical. Además, la energía cinética de los vórtices de escala intermedia se subestimaba en un 25 % y el límite artificial en el ecuador del modelo hemisférico distorsionaba los patrones después del día 8. Para mejorar los resultados de estas integraciones a medio plazo se sugirió aumentar la resolución horizontal y vertical, mejorar la representación de la transferencia de momento en la atmósfera superior y desarrollar modelos

globales en lugar de hemisféricos. Este estudio proporcionó una evaluación clave de los límites de predictibilidad de modelos numéricos desarrollados en los años 60 y 70, y sentó las bases para futuras mejoras en la predicción meteorológica a medio y largo plazo (Miyakoda et al. 1972).

Mientras que el éxito de los modelos de corto plazo dependía principalmente de su capacidad para redistribuir la energía cinética y la energía potencial disponible dentro de la atmósfera, los modelos de circulación general de medio plazo tendrían que ser capaces de describir la producción y disipación de energía, tendrían que incluir el ciclo hidrológico y permitir la formación, el desarrollo y la disipación de los ciclones extratropicales. Además, las interacciones con los fenómenos tropicales implicaban que había que tener en cuenta la circulación del hemisferio sur para realizar pronósticos del hemisferio norte para períodos superiores a una semana aproximadamente. También se preveía que sería necesario abordar las interacciones entre las circulaciones atmosférica y oceánica para obtener predicciones de buena calidad a medio plazo. A diferencia de lo que ocurría en el caso de las predicciones a medio plazo, en aquel momento no existía ningún método prometedor para realizar predicciones a largo

plazo para un período de un mes o una estación mediante métodos dinámicos. Por lo tanto, se tomó la decisión lógica de concentrar las capacidades de investigación y desarrollo en la construcción de modelos atmosféricos adecuados para predicciones dinámicas a medio plazo de calidad creciente, ampliando así la gama de predicciones deterministas útiles en la medida de lo posible. Las predicciones mensuales y estacionales recibieron menor prioridad en la labor inicial del futuro Centro.

Era evidente que el desarrollo y la aplicación rutinaria de modelos atmosféricos para la previsión a medio plazo requerían una enorme capacidad de cálculo. Ni siquiera los ordenadores más rápidos que funcionaban en ese momento serían suficientes. Por lo tanto, se estimó que el establecimiento de un centro de computación meteorológica dedicado en gran medida al desarrollo de la previsión rutinaria a medio plazo sería un proyecto costoso y constituiría un enorme desafío. Probablemente estaría más allá de los recursos financieros y las capacidades de investigación de la mayoría de los Servicios Meteorológicos Nacionales (SMN) europeos y se requeriría un esfuerzo combinado. Esta conclusión fue apoyada por la previsión de que para aumentar la calidad de la infor-

mación meteorológica el desarrollo futuro de la predicción a corto plazo, en el que se centrarían los SMN europeos, se precisaría de una resolución más fina alcanzable con modelos de área limitada–con el consiguiente esfuerzo computacional– y de una mejora de la predicción cuantitativa de la precipitación.

Aunque la preparación de predicciones rutinarias a medio plazo, junto con las actividades de investigación asociadas, constituyó el principal argumento en favor del proyecto de EMCC, era claramente razonable esperar que este Centro proporcionara formación avanzada en Predicción Numérica del Tiempo (PNT) y disciplinas afines. Se previó que el Centro pondría además sus instalaciones de cálculo avanzado para las actividades de los SMN que lo requiriesen. El Centro también debería servir como banco europeo de datos meteorológicos.

El nuevo Centro se diseñó, desarrolló y creció durante la década de 1970 y principios de la de 1980 en estrecha colaboración con la labor científica y técnica del Programa de Investigación Atmosférica Global (GARP, de sus siglas en inglés), creado en 1967 por la OMM, con la colaboración del Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU, de sus siglas en inglés). El GARP, que duró 15 años, fue quizás la iniciativa científica más ambiciosa en la historia de la meteorología, y quizás incluso en todo el campo de la geofísica. El GARP tenía como objetivo revelar nada menos que los detalles de la dinámica de la atmósfera del planeta. Sus experimentos de campo propiciaron un progreso espectacular en la predicción meteorológica. Uno de ellos, el Experimento Tropical Atlántico del GARP (GATE), que tuvo lugar de junio a septiembre de 1974, no tuvo precedentes en cuanto a su escala y éxito. Unos 70 países participaron en el GATE. Se desplegó un enorme sistema de observación, que incluía más de 40 buques de investigación oceánica y varias aeronaves meteorológicas, así como globos y satélites meteorológicos. Los singulares resultados fueron fundamentales para comprender los sistemas meteorológicos a gran escala de los trópicos. El logro más importante del GARP fue, sin duda, el Primer Experimento Global del GARP (FGGE), planificado primero para 1977, luego para 1978 y culminado en 1979. Los Servicios Meteorológicos Nacionales de 170 países, así como agencias espaciales e institutos de investigación, participaron en FGGE. FGGE recopiló las observaciones más detalladas jamás realizadas de la atmósfera

global con los siguientes cuatro objetivos principales: 1) mejorar la comprensión de los movimientos atmosféricos para el desarrollo de modelos más realistas para la predicción extendida, los estudios de la circulación general y el clima; 2) evaluar el límite máximo de predictibilidad de los sistemas meteorológicos; 3) desarrollar métodos más potentes para la asimilación de observaciones meteorológicas, en particular para la atmósfera tropical y para el uso de datos no síncronos; y 4) diseñar un sistema óptimo de observación meteorológica compuesta para inicializar los modelos usados en PNT. Gracias a la labor de FGGE, contamos con la vasta red de observación de la Vigilancia Meteorológica Mundial de la OMM, que mide y sondea constantemente la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre. FGGE sentó las bases del sistema global de satélites geoestacionarios y de órbita polar. Además de las mejoras en la asimilación de datos, FGGE contribuyó a importantes mejoras en los modelos de predicción.

En noviembre de 1970 se crearon varios de los denominados grupos de estudio formados con expertos de un amplio número de países para analizar diferentes aspectos del futuro Centro como: i) programa del proyecto, en especial el coste del mismo; ii) modelo de predicción y potencia de cálculo necesaria; iii) requisitos y producción de datos del Centro; iv) calendario para la implementación. Uno de los grupos de estudio – el presidido por Heinz Reiser, que más tarde sustituiría a Süssenberger como presidente del Deutscher Wetterdienst– recibió el mandato de preparar el informe “Estudio del proyecto del Centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Plazo Medio”. Este importante informe de 130 páginas con anexos fue presentado en agosto de 1971 y abarcaba todos los aspectos relevantes para la creación del Centro, incluyendo la organización, implementación y funcionamiento del mismo. La descripción del centro en este informe guarda un enorme parecido con el ECMWF en la actualidad. Se destacaba en él la necesidad de un centro que complementara las actividades de los centros nacionales sin duplicarlas, y que utilizara los ordenadores más potentes disponibles para la predicción meteorológica a medio plazo. El estudio recomendaba que el Centro tuviera un grupo de investigación independiente del grupo operativo, con una clara separación organizativa para proteger las actividades de investigación del aumento de las de-

mandas operativas. También sugería que el Centro proporcionara formación avanzada en PNT y disciplinas relacionadas.

Para estimar los requisitos informáticos, se consideró que en una predicción operativa una relación práctica entre el tiempo de cálculo y el tiempo real debía ser aproximadamente de 1 a 20, lo que corresponde a aproximadamente una hora de tiempo de cálculo para un pronóstico de un día o medio día para una predicción de diez días. Cuando se combinaba esta estimación con las siguientes características del modelo: 200 000 puntos de rejilla, 3 000 operaciones por punto de rejilla y por paso de tiempo, y un paso de tiempo de 5 minutos, se obtenía que un total de 600×10^6 operaciones por paso de tiempo deberían ejecutarse en 15 segundos. Esto significaba una velocidad de cálculo requerida de 40×10^6 instrucciones por segundo o una computadora central de 40 millones de instrucciones por segundo (MIPS). Las suposiciones para el cálculo del modelo representaban una estimación bastante conservadora basada en una experiencia experimental limitada. Por lo tanto, se consideró apropiada una velocidad de aproximadamente 50 MIPS; se previeron mejoras sustanciales adicionales en el modelo que requerirían velocidades de 100 MIPS o incluso superiores. Si se disponía de un ordenador que pudiera actualizarse a por lo menos 50 MIPS sin necesidad de una reprogramación importante, se consideró que sería económico equipar al Centro al principio con un sistema informático de 10 a 20 MIPS. Sin embargo, la fase plenamente operativa no podría comenzar antes de que se dispusiera de una velocidad de cálculo de unos 50 MIPS.

Con respecto al personal, se vio que el Centro necesitaría un director y un Departamento de Investigación con seis científicos senior. Estos tendrían experiencia en PNT y modelización atmosférica y cualificaciones especiales en cada uno de los siguientes campos: **i)** física atmosférica; **ii)** física de la capa límite; **iii)** fenómenos a pequeña escala; **iv)** procedimientos de inicialización; **v)** métodos numéricos; **vi)** diagnósticos estadísticos. Dos científicos jóvenes, capaces de realizar investigaciones originales, ayudarían a cada uno de estos seis científicos senior, programando código del modelo y llevando a cabo actividades de investigación y desarrollo relacionadas bajo la supervisión de los científicos senior. Se consideró que serían necesarios ocho asistentes dentro del personal inves-

Medio siglo del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF)

Parte 1: Del impulso político hasta el inicio de las operaciones



Alberto Ullastres, embajador de España ante las Comunidades Europeas, firmando el Convenio del ECMWF (fuente: ECMWF)

tigador para trabajos auxiliares, como, por ejemplo, programación de nivel inferior. El trabajo de investigación sería coordinado e inspirado por su director adjunto. Además de este personal de investigación permanente, se previó la provisión financiera de al menos cinco puestos adicionales reservados para científicos visitantes de otros grupos de investigación. Estos puestos no sólo reforzarían el potencial del Centro, sino que también ofrecerían excelentes oportunidades para que los científicos europeos trabajaran en problemas especiales en PNT y campos afines.

Un Departamento de Operaciones, bajo la dirección de un director adjunto, se subdividiría en dos secciones. Una sería responsable de las operaciones del sistema informático –y su tamaño dependería de los requisitos de la futura instalación informática– mientras que la otra sección estaría más orientada a lo científico y se encargaría de los aspectos meteorológicos de las aplicaciones rutinarias y de los contactos con los SMN y la OMM. Bajo la supervisión de un director informático, habría cinco científicos y cinco analistas de sistemas. Además, habría cinco programadores y siete asistentes, así como treinta y dos operadores y ocho auxiliares adicionales. Esto significaría una plantilla de 64 personas en el Departamento de Operaciones. Junto con un segundo director adjunto, 26 personas en el Departamento de Investigación y otras 21 en el Departamento de Administración bajo la supervisión de un tercer director adjunto, se estimaba una plantilla total de unas

110 personas, de éstas unas 40 tendrían educación universitaria o cualificaciones equivalentes.

Firma del convenio de creación del ECMWF

El Convenio del ECMWF fue firmado el 11 de octubre de 1973 por los 15 estados miembros europeos iniciales, que fueron Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Países Bajos, Portugal, España, Suecia, Suiza, Reino Unido y Yugoslavia. El Convenio entró en vigor el 1 de noviembre de 1975, marcando el inicio oficial del ECMWF (véase el texto original en (ECMWF 1975)). Este acuerdo estableció el marco legal y organizativo para el funcionamiento del Centro, permitiendo la cooperación internacional en meteorología y el desarrollo de predicciones meteorológicas a plazo medio. El Convenio del ECMWF que solo ha sido enmendado en una ocasión, el año 2005, aunque la enmienda entró en vigor en 2010 y fue ratificada por España en 2011, analiza el marco jurídico, organizativo y operativo que dio origen al Centro (**Disposición 2750 del BOE núm. 38 2011**). Como puede verse allí, la denominación oficial en español, “Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio”, es algo diferente de las que se usan de forma cotidiana en nuestro país.

El Convenio del ECMWF establece y describe que el Centro fue creado con el objetivo de establecer un centro internacional independiente que pudiera mejorar las predicciones meteorológicas a medio

plazo. Esto se lograría mediante: i) cooperación internacional, reuniendo recursos científicos y tecnológicos de los estados miembros para avanzar en la meteorología; ii) investigación y desarrollo, promoviendo el desarrollo de modelos y técnicas avanzadas para extender el rango de las predicciones más allá de los límites existentes en ese momento; iii) uso de tecnología avanzada, aprovechando los supercomputadores y las tecnologías más modernas para procesar datos meteorológicos de manera eficiente; iv) beneficio global, proporcionando predicciones útiles para actividades comerciales, planificación de desastres naturales, y otros sectores clave.

El Convenio define una estructura organizativa clara para garantizar el funcionamiento eficiente del ECMWF. Se compone de los siguientes órganos: **i)** el Consejo, que es el órgano máximo de gobierno, compuesto por representantes de los estados miembros, y se encarga de tomar decisiones estratégicas y supervisar las operaciones del centro; **ii)** el director general, que actúa como el jefe ejecutivo del ECMWF, responsable de implementar las decisiones del Consejo y dirigir las actividades del Centro; **iii)** los comités asesores, que incluyen varios comités especializados, como el Comité Asesor Científico, el Comité de Finanzas, y el Comité Asesor Técnico, que proporcionan recomendaciones al Consejo sobre aspectos específicos como ciencia, finanzas y operaciones técnicas; **iv)** el personal técnico y científico, que incluye un equipo de expertos en meteorología, informática y otras áreas relevantes para llevar a cabo su misión. Posteriormente, en el año 2004, se crearía un nuevo Comité Asesor de Estrategia

El tema de los idiomas oficiales y de trabajo fue un punto crítico en las discusiones en las que España intentó incluir el idioma español en caso de que se aprobaran varios, aunque no fue insistente en esa reclamación. Finalmente, se adoptaron cinco lenguas oficiales (inglés, francés, alemán, italiano y neerlandés) y tres lenguas de trabajo (inglés, francés y alemán). Esto implicaba que había traducción simultánea a y desde las cinco lenguas oficiales en el Consejo, y que algunos documentos serían traducidos a estas cinco lenguas. Dependiendo de los comités, se utilizarían las tres lenguas de trabajo o solamente el idioma inglés. El tema de los idiomas oficiales tendría todavía nuevas discusiones y fue

retomado posteriormente con motivo de nuevas enmiendas al texto del Convenio en 2005. Finalmente, se optó por considerar como oficiales todas las lenguas oficiales de los estados miembros y mantener como lenguas de trabajo las tres inicialmente indicadas. En la actualidad, el inglés es la única lengua utilizada en la práctica.

También fue muy crítico, y dio lugar a muchas discusiones, el tema de admisión de nuevos estados miembros. Algunos países como Noruega rechazaron, por mal calculadas razones científicas, la incorporación al Centro desde el principio de su creación, aunque posteriormente se incorporó. Otros países procedentes de la denominada entonces Europa del Este y con posterioridad a la terminación de la Guerra Fría tuvieron que pasar por la categoría de Estados Cooperantes hasta que se introdujeron las modificaciones en el Convenio para facilitar su incorporación como estados miembros de pleno derecho. Todos los pormenores relacionados con este tema y el de las lenguas, así como el resto de aspectos jurídicos y organizativos, incluida la elección de la sede del ECMWF en el Reino Unido, están perfectamente relatados por Woods (2005).

La implicación de España y el SMN

España fue uno de los estados europeos invitados a formar parte del nuevo Centro y las negociaciones se iniciaron ya en 1970. A pesar de su régimen político autoritario y su escasa influencia en otros campos científicos, en meteorología era un miembro bien conocido de la comunidad, sobre todo a través de la notable actividad internacional del jefe del Servicio Meteorológico Nacional, el coronel Luis de Azcárraga, quien fue durante muchos años miembro del Consejo Ejecutivo de la OMM y su vicepresidente 1º entre 1959 y 1967. A través sobre todo de él, se obtuvo un respaldo político

muy decidido para que España firmara el Convenio de creación del ECMWF. Por una parte, se veía el proyecto como la forma de poder disponer de los mejores productos de predicción numérica, una materia en la que el Servicio apenas disponía de recursos y tenía una experiencia muy modesta, y por otra parte la participación de España en un proyecto internacional siempre servía para disminuir el aislamiento en el que todavía se encontraba el régimen. El asunto se discutió a alto nivel y el Ministerio del Aire, del que dependía el Servicio, ofreció un apoyo entusiasta que propició el que España fuera uno de los 15 signatarios iniciales. Los representantes españoles acudieron con asiduidad a las reuniones preparatorias. A las del Comité de Finanzas solían hacerlo oficiales de intendencia del Ejército del Aire y a las primeras reuniones del Consejo, que --a falta del edificio que se construiría en Reading, a 60 km de la capital británica-- estuvo reuniéndose en Londres, los meteorólogos Pedro Rodríguez Franco y Miguel Ballester. Una alumna de este último en la Universidad de Barcelona, Evangelina Oriol, fue la primera persona de nacionalidad española entre el personal del Centro.

Desarrollo de un modelo propio y comienzo de las operaciones

El primer director del ECMWF, el profesor danés Aksel Wiin-Nielsen, que había desarrollado parte de su carrera en EE. UU. y conocía muy bien los avances que allí se habían hecho en modelización atmosférica, contactó con el grupo de la Universidad de California-Los Angeles (UCLA) dirigido por los profesores Yale H. Minz y Akio Arakawa y con el grupo del Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) dirigido por Joseph Smagorinsky y que contaba con Syukuro Manabe y con Kikuro Miyakoda. El modelo del GFDL era heredero del primitivo desarrollado por Norman Phillips. Am-

bos grupos se mostraron muy generosos y colaborativos al proporcionar el software de sus respectivos modelos para que los científicos del incipiente ECMWF pudiesen estudiar, analizar y evaluar sus características de cara al desarrollo de un modelo propio del Centro. En el caso del GFDL quizás esta generosidad hacia el ECMWF, como apunta Woods (2005), procede de la frustración por parte de Smagorinsky de intentar convencer al director del National Meteorological Center (NMC) de EE. UU., Frederick G. Shuman, para que aprovecharse los resultados obtenidos por Miyakoda en el GFDL y que iniciase en el NMC un programa de predicción operativa a medio plazo. Finalmente, tras años sin lograr convencer al NMC de que se involucrara en la predicción a medio plazo, Smagorinsky se volcó en ayudar al naciente centro europeo, dirigido por respetados colegas y amigos y encargado de la implementación operativa de una de las iniciativas más importantes del GFDL. Este movimiento estratégico de apoyarse en los avances hechos por los centros de investigación norteamericanos colocó a Europa por delante de EE. UU. en la predicción numérica operativa para el plazo medio y así se ha mantenido hasta nuestros días.

Para esta familiarización y transferencia de los códigos de los modelos de UCLA y GFDL al ECMWF, R. Sadourny y A. Hollingsworth realizaron unas estancias en Los Ángeles y Princeton, respectivamente, y al final se trajeron copias de ambos códigos para su implementación en la máquina CDC 6600 instalada en Bracknell donde el personal del recién creado Centro estuvo provisionalmente hasta que se finalizaron e inauguraron en 1979 las nuevas instalaciones en Shinfield Park, Reading. De hecho, el primer informe técnico del ECMWF (Arpe et al. 1976) trata de la comparación de una única predicción a 10 días realizada con tres modelos (el modelo de UCLA y dos ver-

Aksel Wiin-Nielsen, Joseph Smagorinsky y Yale Mintz artífices de la estrecha colaboración inicial entre ECMWF, GFDL y UCLA para la construcción del primer modelo del ECMWF (fuentes: ECMWF, Wikipedia y AMS)



Medio siglo del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF)

Parte 1: Del impulso político hasta el inicio de las operaciones

siones del modelo del GFDL con diferentes resoluciones). La influencia de los modelos de UCLA y GFDL en el modelo inicial del ECMWF aparece reconocida por Edwards (2010) que muestra el árbol genealógico de los principales modelos atmosféricos de circulación general hasta mediados de los años 1980. La influencia mutua de los distintos grupos que han trabajado y trabajan en este campo tuvo lugar desde el principio del desarrollo de los modelos. El intercambio de conceptos, técnicas matemáticas y códigos informáticos era completamente habitual en la modelización del tiempo y del clima desde mediados de la década de 1960. En lugar de empezar desde cero, prácticamente todos los nuevos grupos de modelización partían de alguna versión del modelo de otro grupo. La disponibilidad de los códigos en el lenguaje informático científico FORTRAN (abreviatura de FORMulaTRANslation) que estaba bien estandarizado y era ampliamente compartido facilitó sustancialmente estos intercambios, al igual que la cultura internacionalista de la ciencia meteorológica. De hecho, en un reciente estudio centrado en la componente atmosférica de la genealogía de 167 modelos atmosféricos, modelos de circulación general y modelos del sistema Tierra (de los cuales 114 han participado en los proyectos CMIP3, CMIP5 y CMIP6) resulta que diferentes versiones del modelo de ECMWF forman parte o han contribuido esencialmente en 23 modelos participantes en algunos de los proyectos CMIP (Kuma et al. 2023).

D. Burridge, J. Haseler y R. Gibson codificaron entre 1976 y 1977 la parte adiabática del modelo utilizando un esquema en diferencias finitas en el que se basaría la primera versión operativa del modelo del ECMWF hasta su sustitución años después por una versión espectral del modelo. Esta versión, para mantener un paso de tiempo razonable de cara a las operaciones, incluía un esquema de discretización temporal semi-implícito (Burridge y Haseler, 1977).

Respecto a las parametrizaciones físicas, se manejaron dos posibles alternativas: la física del modelo del GFDL y la física desarrollada por el propio equipo del ECMWF formado por A. Hollingsworth, M. Tiedtke,

J.F. Geleyn y J.F. Louis. La física del GFDL había sido bien evaluada y era robusta, aunque ya tenía 15 años de antigüedad e incluía una representación bastante simplificada de los procesos físicos a parametrizar. Por el contrario, el paquete físico desarrollado en el ECMWF era más complejo, con más retroalimentaciones, incluía formulaciones más actualizadas de los procesos físicos, aunque todavía presentaba comportamientos no suficientemente conocidos (Tiedtke et al. 1979). Como ambas físicas dieron resultados similares, en términos de calidad de las predicciones, cuando se compararon siete predicciones

para asegurar que las observaciones vecinas fuesen consistentes entre sí. El equipo formado por A. Lorenc, I. Rutherford y G. Larsen codificó este análisis basado en interpolación óptima tridimensional (Lorenc et al. 1977). De esta forma, desde el principio el Centro tuvo control total sobre todo su sistema de asimilación de datos y predicción.

Los análisis basados en interpolación óptima no están completamente equilibrados, los campos de masa y viento no son totalmente consistentes. Por consiguiente, si las predicciones se ejecutan directamente a partir de los análisis, se producen ajustes en los campos de masa, temperatura y viento, que generan oscilaciones de ondas de gravedad de gran amplitud en las primeras horas de predicción. Un proceso llamado "inicialización" elimina estas oscilaciones sin destruir las estructuras meteorológicamente significativas. En el modelo se implementó por C. Temperton y D. Williamson (1979) entre el análisis y la predicción la denominada "Inicialización No Lineal por Modos Normales" con la ayuda de su creador B. Machenhauer.

La primera predicción a medio plazo en tiempo real del Centro se realizó justo a tiempo para la inauguración oficial del edificio en Shinfield Park, Reading, el 15 de junio de 1979, siendo el 1 de agosto de 1979 la fecha de inicio de las operaciones con predicciones hasta 10 días, pero solo cinco días por semana. Las predicciones para los siete días de la semana empezaron el 1 de agosto de 1980. El primer modelo operativo del Centro era un modelo global en diferencias finitas con un tamaño de la rejilla horizontal de 1.875 grados en latitud y longitud y 15 niveles en la vertical. Cada ciclo de asimilación de las observaciones del sistema de predicción abarcaba 6 horas y en esta ventana temporal todas las observaciones eran consideradas simultáneas.

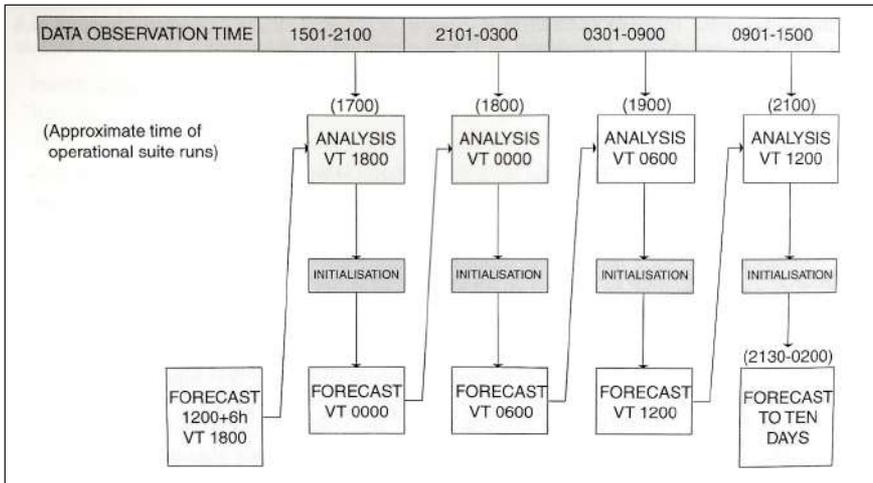
La *Technical Newsletter* N° 5 del ECMWF describe así el primer día de operaciones: "El 1 de agosto de 1979 fue un día muy tenso para el personal del Centro. Después de muchos meses de trabajo, preparación y pruebas, había llegado el día de la primera predic-



El director del ECMWF, Axel Wiin-Nielsen, (izda.) acompañando al Príncipe Carlos (centro) en la inauguración de la sede del ECMWF en Reading el 15 de junio de 1979 (fuente:ECMWF)

correspondientes a situaciones en febrero de 1976 realizadas con las dos alternativas de parametrizaciones físicas (Hollingsworth et al. 1978), se optó por elegir la formulación más compleja y actualizada desarrollada en el propio Centro y que poseía un mayor potencial de mejora en el futuro.

La selección de un buen sistema de asimilación de datos era crucial. L. Bengtsson, en aquel momento jefe de Investigación poseía una experiencia muy relevante gracias a su trabajo en la preparación del FGGE. De hecho, esta experiencia permitió tomar decisiones estratégicas importantes como usar un modelo global –y no un sistema hemisférico o regional– y desarrollar un análisis basado en la interpolación óptima tridimensional que usaba las estadísticas de observaciones pasadas de temperatura, viento, humedad, etc., para asegurar el mejor uso de las observaciones actuales y



Ciclo de asimilación de 6 horas utilizado en el primer sistema de predicción del ECMWF. Los números entre paréntesis sobre las cajas de los análisis indican la hora real en la que se realizan los correspondientes análisis (fuente: ECMWF).

ción operativa a plazo medio que se realizaría en el Centro y se enviaría en tiempo real a los servicios meteorológicos nacionales de los estados miembros. El pronóstico se basaría en un estado inicial para las 12:00 Z del 1 de agosto y los resultados de hasta 7 días se pondrían a disposición de los estados miembros.

Todo empezó sin problemas. Hasta que el sistema de telecomunicaciones estuviera completamente operativo, el Centro recibía sus datos de observación de entrada en formato GTS sin procesar, copiados en cinta magnética por la Met Office del Reino Unido y trasladados en coche al Centro. Las cintas, que contenían los datos ... lle-

garon a tiempo y los datos que contenían fueron decodificados y se controló su calidad.

[...]

Los análisis de las 06:00 y de las 12:00 del 1 de agosto comenzaron, pero luego, inevitablemente quizás durante estas “primeras noches”, surgieron problemas en el sistema informático que interfirieron con el progreso de la predicción. Para las 02:00, sólo se había completado el primer día de predicción, cuando para entonces debería haberse alcanzado hasta el séptimo día. El personal de turno comenzaba a preocuparse de que se perdiera este primer pronóstico operativo del Centro. Se tomó la decisión

de reiniciar el CRAY-1 con una versión diferente del sistema operativo CRAY, y los problemas desaparecieron. La predicción se reinició y, para alivio y satisfacción de todos, se ejecutó sin más problemas. De esta manera se produjeron los primeros resultados operativos del Centro, con unas cuatro horas de retraso, pero, aun así, la predicción se hizo, según lo previsto.”

Desde esta primera e histórica predicción del 1 de agosto de 1979 hasta la actualidad el ECMWF ha recorrido un largo camino de éxito mejorando el modelo y la asimilación de datos, introduciendo la predicción por conjuntos, extendiendo el alcance de las predicciones, ampliando su actividad con los servicios Copernicus de monitorización de la atmósfera y de cambio climático y desarrollando nuevas líneas relacionadas con la utilización de inteligencia artificial y construcción de gemelos digitales. Todo este recorrido será objeto de la segunda parte de esta contribución.

Reconocimientos

Para escribir esta breve nota de conmemoración de los 50 años de existencia del ECMWF he utilizado exhaustivamente el libro de Austin Woods que describe la historia del Centro hasta sus primeros 30 años de existencia. Agradezco también a Manolo Palomares sus sugerencias de incluir alguna información adicional que ayuda a comprender mejor el contexto en el que se creó el ECMWF

Referencias

- Arpe, K., Bengtsson, L., Hollingsworth, A., Janjic, Z.I. (1976). A case study of a ten day forecast. ECMWF Technical Report No. 1. Disponible en <https://www.ecmwf.int/en/elibrary/73501-case-study-ten-day-forecast>
- Burridge, D.M., Haseler, J. (1977). A model for medium range weather forecasts - adiabatic formulation. ECMWF Technical Report No. 1. Disponible en <https://www.ecmwf.int/en/elibrary/73863-model-medium-range-weather-forecasts-adiabatic-formulation>
- ECMWF (1975). Convención original y protocolo sobre privilegios e inmunidades. Disponible en https://www.ecmwf.int/sites/default/files/convention_protocol_privileges_original_sp.pdf
- ECMWF (1979). ECMWF Technical Newsletter No. 5. Disponible en https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/101979/19024-technical-newsletter-no-5-october-1979_1.pdf
- ECMWF (2011). ECMWF Background and History. Available at http://www.ecmwf.int/about/corporate_brochure/leaflets/Background-History-2012.pdf
- Edwards, P.N. (2010). A Vast Machine: Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming. Cambridge, MA: MIT Press.
- Hollingsworth, A., Arpe, K., Tiedtke, M., Capaldo, M., Sävijärvi, H., Åkesson, O., Woods, J.A. (1978). Comparison of medium range forecasts made with two parameterisation schemes. ECMWF Technical Report No. 13. Disponible en <https://www.ecmwf.int/en/elibrary/74856-comparison-medium-range-forecasts-made-two-parameterisation-schemes>
- Kuma, P., Bender, F.A.-M., Jönsson, A.R. (2023). Climate model code genealogy and its relation to climate feedbacks and sensitivity. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 15, e2022MS003588. <https://doi.org/10.1029/2022MS003588>
- Lorenc, A., Rutherford, I., Larsen, G. (1977). The ECMWF analysis and data assimilation scheme: Analysis of mass and wind field. ECMWF Technical Report No.7. Disponible en <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/1977/10812-ecmwf-analysis-and-data-assimilation-scheme-analysis-mass-and-wind-field.pdf>
- Miyakoda, K., Hembree, G.D., Strickler, R.F., and Shulman, I. (1972) Cumulative results of extended forecast experiments. Monthly Weather Review 100: 836-855, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0836:CROEFE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0836:CROEFE>2.3.CO;2)
- Temperton, C., Williamson, D.L. (1979) Normal mode initialization for a multi-level grid-point model. ECMWF Technical Report No. 11. Disponible en <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/1979/12646-normal-mode-initialization-multi-level-grid-point-model.pdf>
- Tiedtke, M., Geleyn, J.-F., Hollingsworth, A., Louis, J.-F. (1979). ECMWF model parameterisation of sub-grid scale processes. ECMWF Technical Report No. 10. Available at <https://www.ecmwf.int/en/elibrary/76699-ecmwf-model-parameterisation-sub-grid-scale-processes>
- Woods, A. (2005). Medium-Range Weather Prediction: The European Approach. The Story of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Springer, 286 pag., ISBN-10:1441920919, ISBN-13: 978-1441920911