

# ECMWF: Cuarenta años de

## “REVOLUCIÓN SILENCIOSA EN LA PREDICCIÓN NUMÉRICA DEL TIEMPO”

POR ALEJANDRO ROA

**C**on esas palabras, “*The quiet revolution of numerical weather prediction*”, que a su vez eran una cita de un artículo publicado en la revista *Nature* (1), hacía referencia en un editorial de la revista del ECMWF (2) su anterior director, Alan Thorpe - que desde final del mes de diciembre ha dado paso a Florence Rabier, primera mujer al frente del prestigioso organismo - al asombroso progreso experimentado en los últimos 40 años en modelización numérica el tiempo. Un progreso al que el Centro Europeo, que el pasado 1 de noviembre de 2015 cumplió oficialmente 40 años (ver sección de noticias en el número de julio de *Tiempo y Clima*) ha contribuido de manera especialmente destacada. Y un progreso silencioso, porque, como dice el resumen del artículo publicado en *Nature* “*los avances en la predicción numérica del tiempo representan una revolución silenciosa, ya que son el resultado de una acumulación constante de los conocimientos científicos y los avances tecnológicos a lo largo de muchos años que, con muy pocas excepciones, no se han asociado con el aura de los avances fundamentales de la física. No obstante, el impacto de la predicción numérica del tiempo es uno de los mayores de cualquier área de la ciencia física. Como problema computacional, la predicción meteorológica mundial es comparable a la simulación del cerebro humano y de la evolución del universo temprano, y se lleva a cabo todos los días en los principales centros operativos en todo el mundo*”.

En otro artículo del mismo número de la revista del ECMWF, titulado “*Forty years of improving global forecast skill*”, a cargo de Patrick Laloyaux y Lennart Bengtsson, que también fue director del organismo, entre 1981 y 1990, se da cuenta de un experimento en el que se comparan los modelos usados para el primer experimento de predicción numérica del Centro Europeo, efectuado en 1975, con los disponibles en el año 2015. En 1975 el ECMWF, en fase de creación aún, no disponía de un modelo propio, por lo que hizo uso para su experimento de los modelos de circulación general desarrollados en los Estados Unidos por el GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) y la UCLA (University of California, Los Angeles). Ambos modelos fueron usados para producir una predicción a 10 días comenzando el 1 de marzo de 1965 a las 00 UTC, situación que fue analizada usando un modelo del también estadounidense NMC (National Meteorological Center) y los datos disponibles de la época, fundamentalmente observaciones de tierra y de radiosondas. La resolución del primero de los modelos era de 250/500 km en horizontal y 9 niveles en vertical, 7 de ellos en la troposfera y 2 en la estratosfera; la del segundo, de 550 km y 6 niveles, 5 en la troposfera y 1 en la estratosfera. Los resultados para una predicción a 5 días (6 de marzo de 2015) fueron aceptablemente buenos a escala de ondas planetarias, pero con poco detalle en la escala sinóptica. Al repetir el experimento, 40 años después, se uti-



Entrada al edificio del ECMWF, con las banderas de los estados miembros

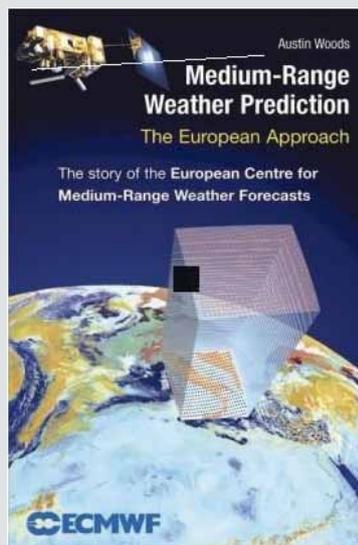
lizó el nuevo sistema acoplado océano-atmósfera desarrollado por el ECMWF para hacer el reanálisis del siglo XX, el llamado CERA, con la resolución del modelo operativo IFS, 16 km. Con él, y partiendo de los mismos datos iniciales, se hicieron reanálisis cada 6 horas desde el 15 de febrero hasta el 1 de abril de 1965, y predicciones para 10 días cada día a las 00 UTC. Comparando la predicción elaborada el 1 de marzo para 5 días (6 de marzo) con la que se hizo en 1975, se observa una clarísima mejoría en la escala sinóptica, comparando con los análisis efectuados para ese día 6 de marzo. En general, los experimentos hechos a partir de datos de los años 60 con las técnicas disponibles en 1975 y en 2015 muestran que el alcance de las predicciones correspondiente a una correlación de anomalías del 80% para el geopotencial de 500 hPa era en 1975 de 1,5 días y en 2015 de 6, mientras que un 60% de correlación se alcanzaba en 1975 en 3,5 días y en 2015 en 8,5 días. Es decir, que por lo que respecta a la destreza o skill, el ECMWF ha ganado 4,5 días para el 80% y 5 días para el 60% en los últimos 40 años, aproximadamente un día por década, que es lo que se propuso el ECMWF cuando fue establecido.

Se puede afirmar, por tanto, que el ECMWF ha sido muy fiable en lo referente a hacer predicciones sobre sí mismo, al menos en lo que se refiere al objetivo con el que fue establecido inicialmente, es decir, “*desarrollar una capacidad de previsión meteorológica a plazo medio y proporcionar previsiones meteorológicas a plazo medio a los Estados miembros*”, tal y como reza el artículo 2.1 de la Convención (o Convenio) (3) por el que fue establecido el organismo. Lo que no estaba previsto, y dio lugar a amplias discusiones en su momento, fue que el

ECMWF comenzara a salirse de sus límites y a producir predicciones más allá del medio plazo, es decir, entre 3 y 10 días, ni predicciones de oleaje, que no son exactamente meteorológicas, aunque tengan su causa en la atmósfera. Ambas cuestiones fueron un empeño personal de uno de sus directores, el anteriormente mencionado Lennart Bengtsson, que desde mediados de los años 80, época en la que las predicciones del ECMWF ya habían adquirido gran prestigio a nivel mundial, vio con claridad la importancia de ambas líneas de trabajo.

Para seguir con un poco de detalle la evolución histórica del ECMWF podemos guiarnos por la publicación "*Medium-Range Weather Prediction. The European Approach*" (4), que escribió hace diez años Austin Woods, con motivo de los 30 primeros años de la institución. Austin Woods formaba parte de la plantilla del ECMWF desde 1978, y desde 1984 era secretario del Consejo, el máximo órgano director del Centro, por lo que era una de las personas que mejor lo conocía. A lo largo de los 20 capítulos del libro hace un recorrido no sólo de esos 30 primeros años, pues se retrotrae al menos una década para contarnos los distintos estudios y proyectos que, finalmente, dieron lugar al establecimiento del Centro Europeo. En la sección de noticias de este número se puede leer un breve resumen de aquellos primeros años en los que tenía director (el danés Aksel Wiin-Nielsen) y una reducida plantilla, pero no instalaciones (su primera sede fue la del Met Office en Bracknell) ni modelos numéricos propios.

No fue hasta 1979 cuando el ECMWF se instaló en su actual sede de Reading (sede que, posiblemente, sea cambiada en un futuro más o menos próximo, si es que los estados miembros,



Portada de *Medium-Range Weather Prediction*, de Austin Woods

un CRAY-1A, que contaba con un procesador vectorial que trabajaba a 80 MHz, una memoria de 8Mb y un disco duro de 2,4 Gb. Ejecutando el modelo operativo de predicción alcanzaba un rendimiento sostenido de 50 Megaflops, siendo el pico máximo teórico de 160. Con ese superordenador, que hoy en día nos puede parecer muy poca cosa, pero que en aquellos tiempos era lo último en tecnología computacional, costaba entre 5 y 8 millones de dólares y se vendieron más de 80 ejemplares (5), se ejecutaba desde agosto de 1979 el primer modelo de medio plazo propio del Centro Europeo.

Aquel primer modelo global, que aún no era espectral (algo que llegaría pocos años después, en abril de 1983) tenía una resolución horizontal de 200 km en el Ecuador, aunque según se acercaba a los polos disminuía el tamaño de la rejilla en dirección este-oeste, y 15 niveles en la vertical, más cercanos entre sí los más bajos y más separados los altos, siendo el tope superior 25 km. Esto suponía 28.800 puntos de rejilla por nivel, 432.000 puntos de rejilla en total. Los esquemas de parametrización de nubes, convección y radiación eran de los más avanzados en su época, aunque muy sencillos en comparación con los actuales. El paso de tiempo era de 15 minutos, y, trabajando a un ritmo sostenido de 50 millones de cálculos por segundo, conseguía hacer los cálculos de predicción hasta 10 días en apenas 4 horas. Durante el primer año sólo se ejecutaba de lunes a viernes, pero desde agosto de 1980 se empezó a correr también los fines de semana.

En muy pocos años, a principios de los 80, el modelo de predicción a medio plazo del Centro Europeo se había convertido en una referencia a nivel mundial. La focalización del trabajo en la tarea concreta de suministrar las mejores predicciones posibles de medio plazo, contando para ello con los mejores profesionales, tanto de la meteorología como de la computación, produjo unos resultados excelentes.

Las mejoras fueron muy rápidas en los siguientes años, tanto en lo que se refiere a los sistemas de asimilación de datos, aspecto clave en la modelización del tiempo en el que el ECMWF siempre ha sido pionero, desde los trabajos iniciales con las técnicas de interpolación óptima hasta los actuales 4D-Var (tema en el que es experta la nueva directora), como en la mejora de la dinámica y de la física del modelo. La introducción de la incertidumbre y de la probabilidad por medio de los ensembles o conjuntos de predicciones, de modo experimental a finales de los años 80 y operativo desde 1992, ha sido otra de las grandes aportaciones del Centro Europeo en el campo de la modelización numérica del tiempo, un campo en el que no ha dejado de investigar desde entonces y en el que ha sido seguido por servicios meteorológicos de todo el mundo.

Pero, como decía anteriormente, llegó un momento, y no tardó mucho en llegar, en que el corsé de las predicciones de



Superordenador CRAY XC30 instalado en el ECMWF en 2013 (tomada de la web del ECMWF)

22 hoy en día, llegan a un acuerdo), con una plantilla muy similar a la actual, en torno a 150 personas altamente capacitadas, y con un superordenador y un modelo numérico propios. Un superordenador de los de entonces, claro, concretamente

## ECMWF: Cuarenta años de

“REVOLUCIÓN SILENCIOSA EN LA PREDICCIÓN NUMÉRICA DEL TIEMPO”

medio plazo empezó a ser demasiado estrecho para el ECMWF y, tras vencer algunas reticencias, el Consejo aprobó en el año 1994 un programa experimental de predicción estacional, con vistas a mejorar las predicciones de plazo medio, algo que Lenart Bengtsson ya había solicitado por vez primera diez años antes. Los avances en predicción estacional y anual, que tiene como una de sus características definitorias el acoplamiento océano-atmósfera, han sido continuos desde entonces, y también lo ha sido la colaboración con servicios meteorológicos de todo el mundo en proyectos multimodelo como DEMETER, ENACT, ENSEMBLES o MERSEA. Para cubrir el hueco entre el medio plazo y la predicción estacional se ha ampliado el primer plazo hasta los 15 días y se ha enlazado con la segunda por medio de las predicciones extendidas, hasta 30 días, que ya contemplan el acoplamiento océano-atmósfera.

Por otra parte, el mismo Bengtsson había propuesto en su programa de mediados de los 80 la modelización del oleaje, algo que no era propiamente meteorológico y que contó con la resistencia de algunos de los estados miembros, según nos cuenta Austin Woods en el capítulo 12 de su libro. Pero una vez vencida esa resistencia y tras los correspondientes estudios y experimentos previos, a partir del 1 de julio de 1992 comenzó a correr el primer modelo global de olas del ECMWF, con resolución de 3° y alcance de 10 días, y uno de área limitada para el Mediterráneo con resolución de 0,5° y alcance de 5 días.

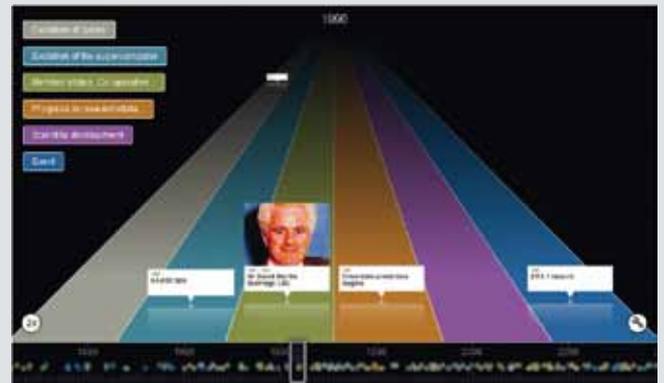
Y una vez resueltos, o al menos bien encaminados, todos los métodos de análisis, que incluyen la compleja asimilación del exponencialmente creciente conjunto de datos de satélite, y establecidos los mejores métodos de predicción del tiempo futuro (ya decía Niels Bohr que “hacer predicciones es muy difícil, sobre todo cuando se trata del futuro”), sea para la atmósfera o para el oleaje, sea para el plazo medio, el extendido o el estacional, sea para los escenarios deterministas o probabilistas, llegaba el momento de mirar hacia el pasado, pero usando las técnicas modernas. De ese modo surgió el llamado “re-análisis” o “retro-análisis”, base del “hindcasting”, que se puede traducir como “retropredicción” (si bien hay una habitual confusión entre “reanálisis” y “hindcasting”).

Dejando aparte experimentos anteriores que sólo abarcaban algunos meses y que ya se habían hecho desde los años 70, el primer reanálisis completo del ECMWF, conocido como ERA (ECMWF Re-Analysis) comenzó en febrero de 1993 y abarcó 15 años completos, de 1979 a 1993 (de ahí lo de ERA-15). En 1997 se amplió a 40 años (ERA-40), comenzando en 1957, aunque luego se extendió a 45 años, finalizando en 2002. Más tarde fue el turno del ERA-20C, reanálisis de todo el siglo XX y algo más (de 1900 a 2010, concretamente), y ahora el del ERA-20C, en el que las observaciones del océano y la atmósfera se asimilan simultáneamente. ERA y CERA a su vez están integrados en ERA-CLIM, un proyecto climático. Y es que el ECMWF, que ya ha demostrado su sobrada competencia en cualquier tarea que haya emprendido, firmó un acuerdo en noviembre de 2014 con la Comisión Europea para operar el Servicio de Vigilancia Atmosférica (CAMS) y el Servicio de Cam-

bio Climático (C3S) del programa Copernicus (ver sección de noticias de julio de esta misma revista).

CAMS supone toda una revolución, una más, al incluir la predicción química en el modelo (C-IFS), ya que existen múltiples interrelaciones entre las especies químicas y aerosoles con las variables meteorológicas, con lo cual al hecho de que se obtengan predicciones de contaminación puede añadirse, de propina, que pueden llegar a mejorarse la calidad de las predicciones.

El próximo mes de marzo tendrá lugar un nuevo hito dentro de la “revolución silenciosa” del ECMWF, al disminuir la distancia entre los puntos de rejilla de los actuales 16 km a tan solo 9 km. Sin entrar todavía en las escalas propias de los modelos no hidrostáticos, pero muy lejos, en todo caso, de los 200 km que tenía el primer modelo operativo. Tras 40 años de liderazgo en su campo, cada vez más amplio, no parece haber límite a las capacidades del ECMWF, un organismo siempre pionero, eficaz y confiable, ejemplo de colaboración dentro del campo de la meteorología, que a su vez ha sido siempre una ciencia ejemplar en ese aspecto.



Captura de pantalla de la animación interactiva de la historia del ECMWF (tomada de la web del ECMWF)

En la propia web del ECMWF, recientemente renovada, se pueden seguir por medio de una animación interactiva (6) todos los hitos de su historia, divididos en ciclos del modelo (el actual es el 41r1), evolución del superordenador, estados miembros y cooperantes, progresos en investigación y datos, desarrollo científico y eventos.

- (1) *“The quiet revolution of numerical weather prediction”*, Peter Bauer, Alan Thorpe & Gilbert Brunet, *Nature* nº 525 (sept. 2015), págs. 47-55
- (2) *ECMWF Newsletter* Nº 145 (Otoño 2015)
- (3) *Convenio enmendado por el que se crea el Centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Plazo Medio*
- (4) *Medium-Range Weather Prediction. The European Approach*, Austin Woods, 2006, Springer Science + Business Media Inc.
- (5) *Cray-1 en Wikipedia*. Se puede comparar con las prestaciones del actual superordenador, instalado en 2013, también un Cray (ver <http://www.ecmwf.int/en/computing/our-facilities/supercomputer>)
- (6) <http://www.ecmwf.int/en/about/who-we-are/history>