

# La Supercomputación en meteorología



*El INM utiliza un superordenador para mejorar los modelos numéricos de previsión del tiempo.*

*Texto: Pablo del Río  
Jefe del Área de Telemática del  
Instituto Nacional de Meteorología.*

**La** D.G. del Instituto Nacional de Meteorología (MMA) elabora y difunde información relativa a los fenómenos meteorológicos que tienen lugar en la atmósfera y a su más directa repercusión a nivel de la superficie terrestre, tanto en áreas continentales como marítimas, y realiza la previsión de los mismos con el tiempo suficiente para ponerlo en conocimiento de la sociedad.

Esta actividad de previsión del tiempo es de gran trascendencia para un país como España, el cual tiene una ubicación geográfica muy compleja desde el punto de vista meteorológico (altitud media elevada, muchos kilómetros de costas, montañas muy cerca de la costa, cercanía a África), con importantes repercusiones en numerosos ámbitos de la actividad humana, entre los que se pueden citar: transportes terrestre, aéreo y marítimo, turismo y ocio, deportes, agricultura, etc, además de otras relacionadas con la protección civil y la defensa.

Para tener conocimiento del estado futuro de la atmósfera, el personal del INM encargado de reali-

zar las previsiones del tiempo, utiliza (entre otras) una herramienta fundamental: las salidas obtenidas a partir de la integración de modelos numéricos de previsión del tiempo. Estos modelos numéricos son muy complejos, se encuentran en continua evolución y desarrollo y requieren la utilización de ordenadores de gran potencia de cálculo, de gran capacidad de memoria y de almacenamiento, de tal forma que gran parte de las mejoras obtenidas en el campo de la modelización numérica del tiempo se debe a los avances que se han conseguido en los últimos años en el campo de la informática: ordenadores cada vez más rápidos y potentes.

Un modelo numérico consiste básicamente en un sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que, utilizando determinadas variables meteorológicas, se resuelven (de forma aproximada mediante métodos numéricos) sobre los puntos de una malla tridimensional en que se ha dividido el espacio atmosférico definido como área de trabajo. El cálculo se va repitiendo cada cierto tiempo predefinido (paso de tiempo de inte-

## Para conocer el estado futuro de la atmósfera, el INM utiliza ordenadores superpotentes capaces de resolver complejos modelos numéricos de previsión del tiempo

gración) hasta alcanzar el horizonte final de la previsión (24, 48 o 72 horas, etc., hasta un máximo de 10 días, por ahora). Cuanto menor es la distancia entre los puntos de la malla, mayor es la resolución del modelo, por lo que mayor es el número de puntos de la malla sobre los que hay que resolver el sistema de ecuaciones. Por tanto, para un mismo ordenador, aumentar la resolución de un modelo (manteniendo el área de trabajo) hace que se multiplique el número de puntos para los que se resuelven las ecuaciones, por lo que se incrementa el tiempo de cálculo e incluso puede ocurrir que la capacidad de memoria del ordenador se vea desbordada.

Además del tiempo que se requiere para integrar el modelo en todos estos puntos en el plano horizontal, hay que tener en cuenta la resolución vertical (es decir, el número de niveles para los cuales se integran las ecuaciones). Pasar, por ejemplo, de efectuar los cálculos en 30 niveles a realizarlo en 60 niveles, implica duplicar el tiempo de cálculo. Es decir, evolucionar un modelo introduciendo mejoras (resolución horizontal y vertical, parametrizaciones físicas, etc.), si no se dispone de un ordenador adecuado, puede dar lugar a que los productos no estén disponibles en un tiempo prudencial o a que sea imposible obtenerlos. Es por este motivo, el poder avanzar en el campo de la modelización numérica del tiempo y mejorar la calidad de las previsiones meteorológicas lo que hace imprescindible disponer de ordenadores superpotentes, los cuales al ser capaces de integrar modelos con resolución cada vez mayor, nos permiten más precisión y detalle a la hora de realizar estas previsiones. Así, hoy día, gracias a la existencia de este tipo de ordenadores hay modelos operativos con 5 km de resolución horizontal.

Por otra parte, la mejora en los modelos numéricos pasa por mejorar los análisis que se hacen de las observaciones meteorológicas (datos de partida). El estado inicial de la atmósfera debe ser conocido de la forma más precisa posible (lo más cercano a la realidad que se

pueda) para realizar una predicción numérica. Un pequeño error en su especificación conducirá al modelo a amplificar este error a la hora de pronosticar el estado de la atmósfera en instantes posteriores (debido a la no linealidad de las ecuaciones de la hidrodinámica que rigen la evolución de los estados atmosféricos). Éste es el objetivo de la asimilación de datos: dar el mejor estado inicial posible para el modelo numérico de predicción del tiempo.

Durante muchos años, esta asimilación de datos se apoyaba en un sistema de análisis numérico de campos meteorológicos, basado en la interpolación óptima tridimensional de las desviaciones entre las observaciones y campos de predicción numérica (IOT), pero desde hace algunos años, se encuentra operativo en algunos centros meteorológicos un método variacional (una solución del modelo sobre el periodo de asimilación es ajustada globalmente a las observaciones disponibles, con propagación de la información contenida en las observaciones, tanto adelante como hacia atrás en el tiempo), tridimensional (3D-Var) o tetradimensional (4D-Var). Para este tipo de asimilación de datos, también se requiere que el ordenador correspondiente sea muy potente, sobre todo para la asimilación variacional tridimensional. Ésta asimilación de datos variacional, permite tratar ciertos datos procedentes de los satélites meteorológicos que con la Interpolación Óptima Tridimensional no es posible realizar.

Aunque los modelos numéricos del tiempo actuales (llamados deterministas, pues se emplea un solo modelo y una sola integración) son capaces de dar previsiones del tiempo con alcance de hasta diez días, su fiabilidad decrece mucho cuando el horizonte de la predicción va más allá de los primeros cinco días (dependiendo de la situación de la atmósfera a la hora de efectuar la predicción, por supuesto). Si se cometen errores (aunque éstos sean pequeños) al realizar las observaciones de los parámetros meteorológicos, estos errores se van amplificando con el tiempo de tal forma que

la predicción va perdiendo validez. Por este motivo, se ha desarrollado una nueva técnica de predicción: suponiendo que los errores de predicción tienen su origen en el análisis de los datos observados, se van introduciendo sucesivas modificaciones en este primer análisis y a partir de cada análisis modificado resultante, se integra el modelo de predicción del tiempo (normalmente se suele utilizar un modelo de menor resolución que el modelo operativo) obteniéndose un conjunto de predicciones, las cuales se pueden combinar en una predicción promedio, o bien, se pueden agrupar dentro de un pequeño número de predicciones alternativas, o bien, se pueden utilizar para especificar la probabilidad de ocurrencia de eventos futuros del tiempo. A esta técnica de predicción de le llama Sistema de Predicción por Conjuntos. La predicción deja de ser determinista para pasar a ser de tipo probabilístico.

Por supuesto, los ordenadores de altas prestaciones también se emplean en la investigación y experimentación sobre predicción estacional y sobre la variabilidad climática, aunque su utilización operativa para este tipo de tareas es diferente de las ya apuntadas, pues en lugar de integrarse el modelo numérico varias veces al día, y con

alcances de predicción de días, se suele integrar una vez al día, pero con horizontes muy superiores (meses, años).

El INM, con el fin de situarse al nivel de otros servicios meteorológicos occidentales, ha adquirido el superordenador vectorial Cray X1. De esta forma, se podrán llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Pasar de un modelo operativo con resolución horizontal de 40 km a uno de 17 km, para un área de trabajo similar (implica pasar de los 19.400 puntos de malla a más de 246.768), con una resolución vertical de 40 niveles (el actual modelo operativo tiene 31).
- Aumentar el horizonte de la predicción desde 48 a 72 horas.
- Mejorar las técnicas de asimilación de datos y las parametrizaciones físicas del modelo.
- Anidar en el modelo anterior otro (u otros) modelo de unos 5 km de resolución (para un área menor, pero también con 40 niveles).
- Integrar un Sistema de Predicción por Conjuntos para modelos de área limitada.
- Realizar integraciones de modelos climáticos.

El modelo que se integra en el INM es el HIRLAM, el cual es un modelo de área limitada (se inte-

gran las ecuaciones en un área determinada de la superficie terrestre de interés para España, no en todo el globo), con un horizonte de predicción de 72 horas, y cuatro integraciones diarias.

El ordenador Cray X1 instalado en el INM, actualmente cuenta con 16 nodos de 4 procesadores cada uno (64 procesadores), con 16 GB de memoria RAM por cada nodo, a 800 Mhz. Uno de los nodos está dedicado a la gestión del propio ordenador y los otros 15 nodos para cálculo. Durante el primer semestre del 2005 se dispondrá de nuevos nodos los cuales sustituirán a los ya instalados. Estos nuevos nodos tendrán 8 procesadores por cada uno (en total 128 procesadores), 11 de estos nodos tendrán 16 GB de RAM cada uno y 4 de ellos tendrán una RAM de 32 GB cada uno, siendo todos ellos un 50% más rápidos que los sustituidos (se pasa de una frecuencia de reloj de 800 MHz a 1200 Mhz). Esto hará que la velocidad de cálculo sostenida por este ordenador, cuando integra el modelo HIRLAM/INM, sea cercana a los 700 Gflops. El ordenador al que sustituye (Cray C90, con 4 procesadores) tenía una velocidad de cálculo sostenida de 1,6 Gflops, por lo que este nuevo ordenador es unas 400 veces más rápido que el que estaba

operativo hasta hace un año. Estas características se resumen en los cuadros adjuntos:

Por supuesto, un ordenador de estas características genera una cantidad de información enorme, la cual debe ser almacenada de tal forma que se pueda recuperar, cuando sea necesario, de forma ágil y

## Ordenador Cray X1 (configuración en 2004):

<b>Nodos</b>	16 (15 para cálculo, 1 para el S.O., 4 proc. por nodo)
<b>Procesadores</b>	64 procesadores vectoriales a 800 Mhz
<b>Potencia pico de cálculo</b>	60*12,8 Gflops = 768 Gflops
<b>Potencia sostenida</b>	230 Gflops (unas 140 veces el CRAY C94A)
<b>Memoria</b>	16 Gbytes compartidos por nodo (256 Gbytes)
<b>Disco</b>	4,8 TBytes

## Ordenador Cray X1 E (configuración en 2005):

<b>Nodos</b>	16 (15 para cálculo, 1 para el S.O., 8 proc. por nodo)
<b>Procesadores</b>	128 procesadores vectoriales a 1200 Mhz
<b>Potencia pico de cálculo</b>	120*19,2 Gflops = 2.304 Gflops
<b>Potencia sostenida</b>	570 Gflops (unas 360 veces el CRAY C94A)
<b>Memoria</b>	16 Gbytes compartidos por nodo para 11 nodos y 32 Gbytes compartidos por nodo para 4 nodos 304 Gbytes en total
<b>Disco</b>	4,8 TBytes




sencilla. Por este motivo, en la adquisición de este sistema de altas prestaciones se incluyó un Área de Almacenamiento en Red (Storage Area Network), con 3 TB en disco y 14 TB en cartuchos LTO-2, manejados por una librería robotizada. Realmente, esta capacidad de almacenamiento se estima escasa para la cantidad de información que se genera actualmente y sobre todo, la que está previsto que se genere en los próximos meses, por lo que ya se están efectuando estimaciones para ampliarla el año próximo.


En cada Servicio Meteorológico en Europa, el problema de la predicción numérica del tiempo se aborda de muy distinta forma, ya que en función de los recursos humanos disponibles en cada país y del poder adquisitivo del mismo, los ordenadores seleccionados para integrar estos modelos son de muy diferente arquitectura y tecnología, los cuales debido a los retos que se plantea la modelización, están en continuo desarrollo y evolución. Así, en el Centro Europeo para Predicción a Plazo Medio (del cual España es un miembro activo y utiliza sus recursos), disponen de un ordenador IBM, de un elevado número de pro-

cesadores de tipo escalar, en lugar de vectorial.

En cualquier caso, todo ello está enfocado al servicio de la sociedad, pues cuanto más precisa sea la previsión del tiempo y del clima, mejor se podrán adecuar las actividades al tiempo esperado, así como intentar corregir usos y costumbres que puedan afectar a nuestro clima a largo plazo. Nuestro problema es que, además de estos ordenadores tan potentes, es necesario invertir en una red de observación que sea cada vez más densa, con el fin de disponer de datos cada vez de mejor calidad y poder recibirlos con una frecuencia mayor para que alimenten nuestros modelos numéricos, lo cual lleva un coste asociado realmente elevado.

Finalmente, hay que apuntar que el campo de la modelización numérica del tiempo es uno de los mayores escaparates de estos ordenadores, pues es en este tipo de tareas donde más recursos de computación se consumen (en el ámbito de las actividades civiles), sirviendo a su vez para que los fabricantes de estos ordenadores continúen investigando e incrementando las prestaciones de los mismos. 

## **El INM con el fin de situarse al nivel de otros servicios meteorológicos occidentales, ha adquirido el superordenador vectorial Cray X1**



*La mejora en los modelos numéricos pasa por mejorar los análisis que se hacen de las observaciones meteorológicas.*