

# EL MODELO HIRLAM DE PREDICCIÓN DEL INM

*E. RODRÍGUEZ CAMINO*  
*J. A. GARCÍA-MOYA ZAPATA*  
Instituto Nacional de Meteorología

## INTRODUCCIÓN

El sistema de predicción HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) es un código de asimilación de datos y de predicción desarrollado por los siguientes países: Suecia, Noruega, Finlandia, Dinamarca, Islandia, Holanda e Irlanda. Actualmente Francia y España tienen acuerdos de cooperación con el grupo de países que han desarrollado el sistema HIRLAM.

El desarrollo del sistema se ha basado en proyectos trienales, al final de los cuales el grupo que participa en el desarrollo se compromete a preparar una versión para su utilización operativa de los países miembros del grupo HIRLAM. El proyecto HIRLAM ha tenido ya dos fases, que han finalizado con la elaboración de dos códigos a los que actualmente tienen acceso los países signatarios del proyecto y los que tienen convenios de cooperación. El modelo HIRLAM-2, que se puso operativo al finalizar la segunda fase del proyecto HIRLAM, es el que está actualmente instalado para su utilización operativa en el INM.

Actualmente está en fase de desarrollo el proyecto HIRLAM-3, que deberá finalizar en 1996 con un nuevo código que incorporará una serie de mejoras respecto al actual HIRLAM-2, y que configurarán un sistema operativo de asimilación de datos y de predicción que estará a la altura de los más avanzados del mundo. La meta de los sucesivos proyectos HIRLAM es la de poner a disposición de los países miembros un modelo que incorpore los algoritmos más eficientes y que mejor simulen la evolución de la atmósfera y que a la vez se encuentre a la altura de los modelos desarrollados en los centros más competitivos en temas de modelización. Podemos resumir diciendo que los proyectos HIRLAM son el esfuerzo coordinado de algunos países europeos, que poseen recursos modestos, para estar a la altura de las circunstancias en temas de modelización a corto plazo con respecto a los grandes centros con grandes recursos y gran tradición y experiencia en temas de modelización. Hasta ahora, los proyectos HIRLAM han cumplido sobradamente sus aspiraciones.

El proyecto HIRLAM-3, actualmente en fase de desarrollo, tiene una gran actividad que se materializa en la existencia de grupos de trabajo sobre algunos

temas específicos que se han considerado prioritarios para la mejora de los modelos. Entre estos temas se pueden citar:

- Técnicas numéricas (semilagrangiana y advección vertical implícita, espectral, difusión horizontal)
- Esquemas de parametrización física (radiación, nubes y condensación, difusión vertical, esquemas de superficie, base de datos fisiográfica)
- Formulación de un modelo no hidrostático.
- Análisis y asimilación (inicio por filtros digitales, interpolación óptima, técnicas de Monte Carlo, filtros adaptativos en análisis por interpolación óptima, uso de datos de satélite, técnicas variacionales)
- Estudios de casos
- Sistema de referencia.

Los distintos grupos de trabajo organizan un promedio de tres *workshop* especializados al año en los que se invitan a especialistas en los temas, procedentes de dentro y fuera de los grupos y que permiten una puesta al día de los distintos grupos de trabajo en cada uno de los temas. También se organizan uno o dos seminarios anuales a los que asisten todos los integrantes del proyecto HIRLAM y que constituyen la *asamblea general* de intercambio de ideas entre los diferentes grupos y personas. Esta forma de trabajo «neuronal» sin la existencia de centros rectores es la que se está tomando como modelo a nivel europeo para desarrollar la futura red de desarrollo europea en predicción numérica a corto plazo.

En el INM se han instalado dos versiones del código HIRLAM en el CRAY-C94 del INM. La primera de ellas, que denominaremos HIRLAM(INM) 0.5°, toma las condiciones de contorno del modelo del ECMWF, y tiene un área de integración que se muestra en la figura 1 (194 x 100 puntos, 31 niveles, 3 minutos de paso de tiempo). La segunda versión, que denominaremos HIRLAM(INM) 0.2°, toma las condiciones de contorno del modelo anterior, y tiene un área de integración que también se muestra en la figura 1 (194 x 100 puntos, 31 niveles, 1 minuto de paso de tiempo).

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CÓDIGO HIRLAM

El código del sistema de predicción HIRLAM presenta unas características singulares de flexibilidad que permiten la selección de área, la resolución horizontal, el número de niveles y las parametrizaciones físicas de forma inmediata.

Las subrutinas de la física son fácilmente sustituibles por otras que parametrizen los mismos procesos por cumplir las normas de portabilidad acordadas entre varios centros generadores de código (Kalnay, 1989).

Existe la posibilidad para algunos procesos físicos de elegir entre diferentes esquemas, por ejemplo, en el caso de la condensación se puede elegir entre el esquema de Sundqvist y la combinación del esquema de KUO para la convección y el esquema de condensación a gran escala que precipita instantáneamente todo el vapor que sobrepasa el punto de saturación.

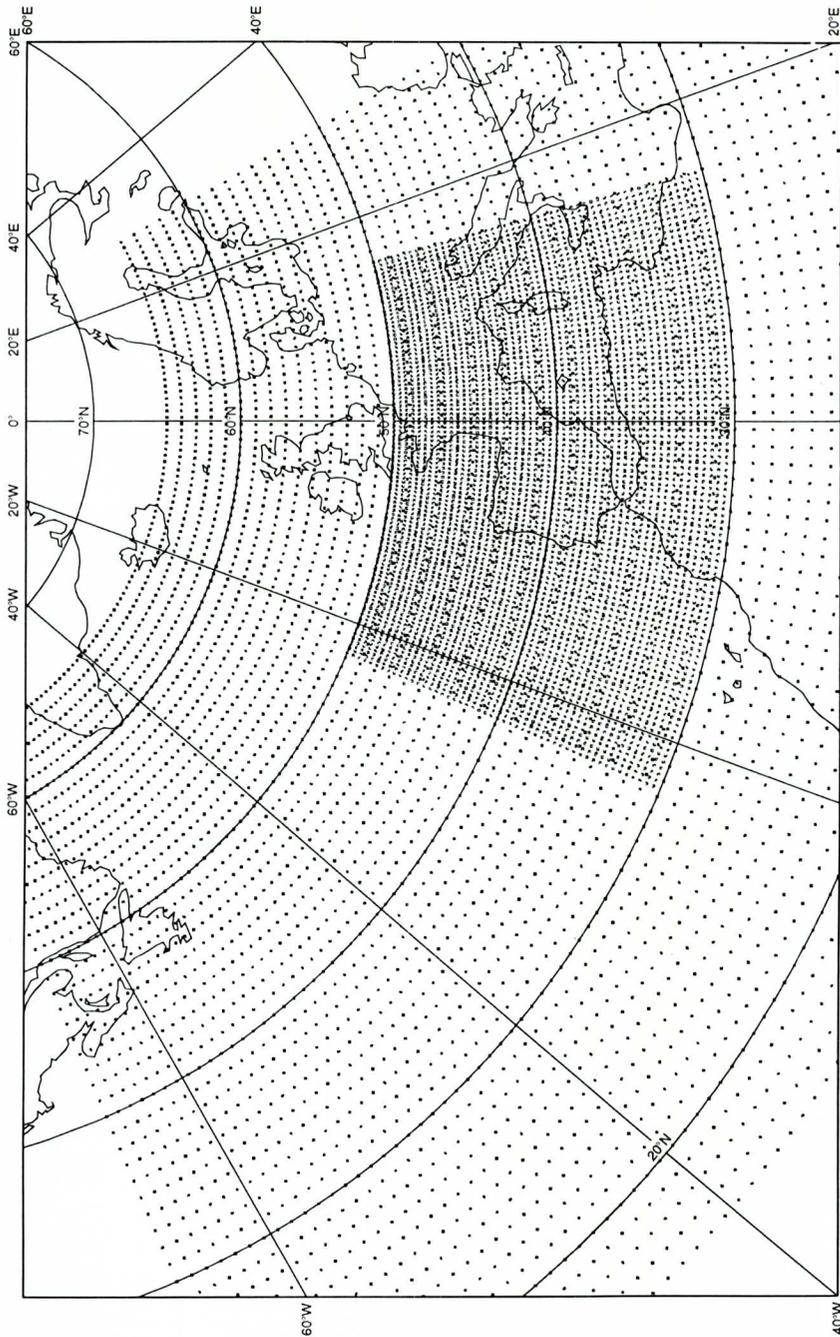


FIGURA 1. HIRLAM(INM)\_0.5 and HIRLAM(INM)\_0.2 grids.

La posibilidad de elegir entre diferentes alternativas también incluye a las técnicas numéricas y a la difusión horizontal.

El posproceso es muy completo y permite una amplia y sencilla selección de campos, niveles y parámetros.

En los modelos globales, cuando se define una rejilla regular en latitud y longitud, aparecen problemas de estabilidad debido a la convergencia de los meridianos en los polos. Esto es fácilmente comprensible puesto que las distancias entre puntos de rejilla se reducen al acercarnos a los polos y deja de cumplirse el criterio CFL de estabilidad computacional. Este problema se evita mediante filtros espaciales en los modelos globales y rotando el polo en los modelos de área limitada de forma que el nuevo ecuador pase por el dominio del modelo. Esta última solución es la que ha sido adoptada por el modelo HIRLAM para evitar los problemas de convergencia de los meridianos. Lógicamente otra alternativa consiste en realizar todos los cálculos no en coordenadas geográficas sino sobre una proyección que no presente estos problemas.

#### ASIMILACIÓN DE DATOS

La asimilación de datos se basa en el paquete de análisis del ECMWF, convenientemente adaptado a un área limitada. Ambos modelos, el HIRLAM(INM) 0.5° y el HIRLAM(INM) 0.2°, tienen un ciclo de asimilación intermitente, siendo ambos ciclos independientes.

Cada ciclo de asimilación está separado del anterior 6 horas y consta de las siguientes cuatro etapas:

##### 1. *Preproceso y control de calidad*

Los datos inicialmente en formato BUFR (binario) se descodifican y pasan un control primario de calidad (errores de codificación, consistencia interna, valores razonables de los parámetros...). Previamente se habrán transferido desde la base de datos en el Fujitsu y habrán sido puestos en formato BUFR desde su codificación inicial en forma de boletines que es como viajan por el GTS.

##### 2. *Análisis objetivo*

El método es el clásico de la interpolación óptima estadística por cajas.

##### 3. *Inicialización*

Se eliminan los desacoplos entre los campos de viento y de masa mediante el método de los modos normales no lineales.

##### 4. *Predicción H+6*

Esta predicción se utilizará con «campo previo» para el siguiente análisis.

A partir de aquí se repite el ciclo con un período de 6 horas.

## FORMULACIÓN ADIABÁTICA Y PARAMETRIZACIONES DEL MODELO HIRLAM

Las ecuaciones primitivas utilizadas por el modelo HIRLAM y que gobiernan la evolución de la atmósfera son:

ECUACIONES DEL MOMENTO (2)  
 ECUACIÓN DE LA TERMODINÁMICA (1)  
 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD PARA HUMEDAD (1)  
 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD PARA AGUA NUBE (1) (con esq. Sundqvist)  
 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD PARA MASA (1)  
 ECUACIÓN HIDROSTÁTICA (1)

En la horizontal se emplean coordenadas esféricas, con la posibilidad de rotar la rejilla como se ha mencionado más arriba. La versión operativa en el INM no tiene la rejilla rotada. En la vertical se emplean coordenadas híbridas. Las coordenadas híbridas, como su nombre indica, son de tipo sigma en las proximidades del suelo y de tipo presión constante en niveles altos. Las dos versiones operativas del modelo HIRLAM(INM) tienen 31 niveles híbridos.

La rejilla C de Arakawa es más comúnmente utilizada por sus buenas propiedades de simulación del ajuste geostrófico y es la utilizada por el modelo HIRLAM.

Las ecuaciones diferenciales que se utilizan habitualmente para describir la atmósfera admiten entre sus soluciones todas las escalas de los movimientos atmosféricos, desde las escalas de microturbulencia ( $10^{-2}$  m) hasta las grandes ondas responsables de la circulación general (107 m). Cuando se pasa a discretizar las ecuaciones primitivas por cualquiera de los métodos estudiados, nos encontramos que al utilizar rejillas espaciales y temporales (actualmente para los modelos usados operativamente están en las proximidades de los 50 km y los 5 minutos) se excluyen explícitamente las escalas menores de los tamaños de dichas rejillas.

Como las ecuaciones que describe la atmósfera son no lineales, las diferentes escalas interactúan entre sí, es decir, no evolucionan independientemente. A modo de ejemplo, pensemos en los movimientos turbulentos que tienen lugar fundamentalmente en la capa límite o en las circulaciones de tipo convectivo. En ambos casos nos encontramos con escalas espaciales menores de 100 km que influyen en las escalas resueltas por las ecuaciones discretizadas. Es obvio que tanto los remolinos de origen turbulento como los movimientos convectivos afectan a las escalas que explícitamente resuelven las ecuaciones discretizadas.

Sin embargo, los efectos de pequeña escala necesitan un tiempo para interactuar con las escalas explícitamente resueltas por las ecuaciones discretizadas. Por lo que en una primera aproximación y para integración de las ecuaciones a corto plazo pueden despreciarse los efectos de las escalas menores de la rejilla del modelo.

Los procesos de escala «subrejilla» en principio no están previstos por las ecuaciones discretizadas de la atmósfera. Sólo pueden considerarse los efectos estadísticos o promediados de dichos procesos en la medida en que están determinados por el flujo resuelto por las ecuaciones discretizadas.

Se denomina *parametrización de los procesos físicos* al procedimiento mediante el cual se añaden términos adicionales en las ecuaciones de la atmósfera que tienen en cuenta las contribuciones promediadas de los diferentes procesos «subrejilla». Estos términos adicionales expresan estos procesos en función de las variables que aparecen en las ecuaciones. Ésto es, la parametrización de un proceso implica su descripción, si bien promediada, en función de las variables de las ecuaciones diferenciales discretizadas.

En la parametrización no sólo se incluyen los procesos físicos que tienen lugar a escala subrejilla sino también aquellos procesos, como por ejemplo los procesos radiativos, que para su completa descripción precisarían de la introducción de variables adicionales y de complejas ecuaciones para describirlas. La parametrización incluye en este caso los efectos de estos procesos de forma simplificada también como términos adicionales en las ecuaciones adiabáticas sin necesidad de introducir variables adicionales suplementarias.

Son temas preliminares a resolver el hecho de identificar qué procesos físicos aparecen explícitamente representados en las ecuaciones adiabáticas discretizadas y cuáles precisan de términos adicionales en las ecuaciones para su descripción. Como es lógico, depende de la resolución espacial y temporal de la discretización de las ecuaciones el que un proceso se represente explícitamente en las ecuaciones o que precise de su parametrización mediante términos adicionales en las ecuaciones adiabáticas.

También es muy importante identificar la importancia relativa de los procesos que se van a parametrizar. Esta importancia depende tanto del alcance de la integración como de la resolución. Lógicamente en las predicciones a corto plazo el papel de las parametrizaciones es bastante secundario, al contrario de lo que sucede en las integraciones de tipo climático, en las que los procesos físicos incluidos en las parametrizaciones condicionan la climatología de los modelos.

La actual versión del modelo HIRLAM parametriza los siguientes procesos físicos: condensación (gran escala y convectiva), radiación, capa límite, suelo.

El modelo HIRLAM tiene dos alternativas para los procesos convectivos; una de ellas basada en un esquema de convección tipo Kuo y en un esquema de condensación de la precipitación a gran escala con producción inmediata de precipitación cuando la humedad relativa rebasa el punto de saturación. Esta alternativa es muy similar a la del antiguo LAM(INM). La otra alternativa (que es la seleccionada operativamente en las dos versiones HIRLAM(INM) 0.5° y HIRLAM(INM) 0.2°) se basa en el esquema de Sundqvist e incluye una parametrización, si bien grosera, de la microfísica de nubes. Cuando se elige la alternativa de Sundqvist, entonces se añade entre las ecuaciones a integrar la de continuidad para el agua de nube.