



Meteorologia i circulació hivernal de vehicles

HARMONIE: el nou model de predicció del temps de l'Agència Estatal de Meteorologia. El camí cap a la mesoescala

- 29 de gener del 2014 a les 20.00 h
- Sala d'actes del Centre Cultural La Llacuna, Andorra la Vella



José Antonio García-Moya Zapata

Físic meteoròleg i cap de l'Àrea d'Innovació al departament de Desenvolupament i Aplicacions, de l'Agència Estatal de Meteorologia, Madrid

▲ Currículum

Nascut a Madrid el 30 de maig del 1958.

Llicenciat en ciències físiques per la Universitat Complutense de Madrid el 1980.

Va ingressar per oposició lliure a l'Institut Nacional de Meteorologia el 1980.

El 1985 va ingressar per oposició lliure al Cos de Facultatius de Meteorologia (avui, Cos Superior de Meteoròlegs de l'Estat).

Meteoròleg predictor del Grup de Predicció i Vigilància del Centre Meteorològic de Balears. Va ser nomenat cap del GPV de Balears, 1989-1991.

Cap de la Secció de Parametritzacions Físiques i Postprocés del Servei de Predicció Numèrica de l'INM (actual Aemet), 1991-1998.

Cap del Servei de Modelització Numèrica del Temps de l'INM (actual Aemet), 1998-2004.

Cap del Servei de Predictibilitat i Prediccions Exteses, 2004-2009.

Cap de l'àrea d'Aplicacions, 2009-2011.

Cap del departament de Desenvolupament i Aplicacions, 2011-2012.

Cap de l'àrea d'Innovació, des del 2013.

Ha participat en diversos projectes internacionals d'investigació en meteorologia i modelització numèrica del temps (Alpex 1982, Pyrex 1990, Hirlam a partir de 1992, Multimeteo 1996, Demeter 2000, Tough 2003, Honeymoon 2005, MACC 2009).

Ha participat també en projectes nacionals d'investigació (Firme 2003, Ensemble 2010, Tisnat 2007, Tisnancia 2010). Ha participat en nombrosos seminaris internacionals de meteorologia (Assemblea Geofísica Europea; Hirlam All Staff Meeting i Workshop d'Usuaris del modelo MM5 i WRF). Ha impartit cursos de predictibilitat en el *Curs sobre predicció numèrica del temps per a predictors operatius* organitzat per Eumetcal (2009) i en el *Curso sobre uso del modelo del ECMWF* per a predictors operatius a Llatinoamèrica. Ha realitzat estades de treball als serveis meteorològics de França (Météo France), Suècia (SMHI) i Finlàndia (FMI) i al Centre Europeu de Predicció a Termini Mitjà (ECMWF).

Bona nit a tothom,

Es un placer para mí estar en un ambiente cultural catalán. Como ha dicho Ramon, yo ingresé en la Agencia Estatal de Meteorología en 1980, cuando acabé la carrera de Física en Madrid y mi primer destino fue el Centro Regional de Baleares. O sea que, durante once años, estuve aprendiendo al mismo tiempo Meteorología mediterránea (en la cual los Pirineos tienen una gran influencia) y catalán. Desgraciadamente, los siguientes veinte años continué estudiando Meteorología mediterránea pero dejé de practicar el catalán, con lo cual no puedo darles esta conferencia en catalán. Pero aún me gusta recordar, me gusta oír hablar catalán y estar en ambientes culturales catalanes. Meteorología. Los últimos treinta y cinco años mi labor en la Agencia Estatal de Meteorología ha sido fundamentalmente trabajar en el desarrollo y la investigación de los modelos matemáticos que sirven para predecir el tiempo. He tenido claramente mucha suerte porque he cogido, en estos treinta y cinco años, el gran desarrollo de los ordenadores y por tanto de los modelos matemáticos. Desde la relativa exactitud que tenían a principios de los ochenta, hasta la calidad que tienen los modelos ahora.

Hoy día no hay en el mundo ningún servicio meteorológico serio que se plantee hacer predicciones del tiempo sin basarlas en modelos matemáticos. Se ha perdido tal vez ese "glamour" que tenían los meteorólogos en los años 60 y 70, en los que una cierta experiencia, un cierto conocimiento parecía que diferenciaba unos meteorólogos de otros.

Ahora ya todos los meteorólogos, y todos los servicios meteorológicos, se basan en modelos matemáticos, y esos modelos matemáticos dan la base general para la predicción meteorológica. Consecuencia de ello puede ser que sus resultados se pueden aplicar pues a la Meteorología de Carreteras (los que tienen interés en las carreteras, como aquí en Andorra), a Meteorología de Vientos (para aquellos que se dedican a la navegación deportiva), Meteorología, Eólica, etc. En fin, los datos generales de un modelo sirven para después iniciar modelos que nosotros llamamos modelos de aplicaciones, que están más cerca del usuario que del núcleo central del modelo matemático, pero para el planteamiento central sigue siendo el modelo a aplicar.

Aquí tienen ustedes un resumen de lo que ha sido.

Skill of ECMWF Forecast Global Model

Increasing horizontal and vertical resolution when computer resources were available

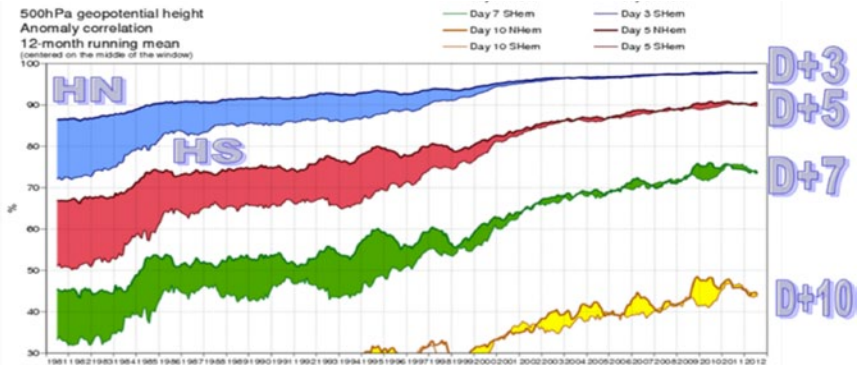


Figura 1

No hay ningún sistema de predicción, ningún aspecto que quiera predecir el futuro que tenga el más mínimo valor, si sus resultados no se verifican. Es decir, no tiene sentido que yo trate de predecir el futuro (tanto en la Meteorología como en las prospecciones de bolsa o como en cualquier otro aspecto de la vida) y que no presente, al mismo tiempo que mi herramienta de predicción, una verificación objetiva de los resultados de mi herramienta. Eso es lo que hacemos en Meteorología. Lógicamente el modelo que hoy nos da la situación prevista para mañana, mañana esa situación se observará con la cantidad de observatorios meteorológicos que hay en todo el mundo y nosotros comparamos las predicciones que hacemos con esas observaciones y a partir de ahí hacemos unas estadísticas de errores de nuestro modelo. Estadísticas absolutamente objetivas. No tienen ninguna intervención humana.

La figura 1 que les muestro es de un modelo global, del ECMWF, que es un centro establecido por las contribuciones de todos los países europeos y que su modelo de predicción, hasta diez días de antelación, tiene una cobertura global. Es decir, el centro tiene un modelo matemático que hace predicciones para todo el mundo hasta diez días de antelación. Esta es una simple verificación en la que, para que se hagan ustedes una idea, 100 significa cien por ciento de las predicciones perfectas y cero por ciento sería un absoluto fracaso.

Cada una de estas franjas de colores representa la calidad de las predicciones de este modelo con tres, cinco, siete y diez días de antelación. La línea gruesa de cada color significa la calidad de estos modelos en estaciones en el Hemisferio Norte, en observaciones del Hemisferio Norte y la línea más delgada en estaciones en el Hemisferio Sur. Y en esta transparencia se resume lo que ha sido la historia de la Meteorología de los modelos matemáticos de Meteorología de los últimos treinta y cinco años. Como ven ustedes, lo primero que observamos aquí es que, lógicamente, contra mayor es el plazo de predicción, contra mayor es la antelación con la que queremos fijar las condiciones de la atmósfera, mayor es el error que cometemos. Las predicciones a tres días son mejores que a cinco. Éstas son mejores que a siete. Y estas otras son mejores que a diez días. Esa es la primera consecuencia, que es una consecuencia general. Contra mayor es el plazo de predicción, mayor error tienen las predicciones.

La segunda cosa que pueden ustedes observar fácilmente es que, en general, las predicciones que este modelo, como modelo representativo de todos los modelos matemáticos, dan para el Hemisferio Norte, son sensiblemente mejores que aquellas que se dan para el Hemisferio Sur, que sería la línea inferior.

Esto es simplemente porque en el Hemisferio Norte la fracción de continente respecto la del mar es mucho mayor. Hay mucho más porcentaje de tierra y mucho más porcentaje de países desarrollados. Lo que significa que hay mucho más porcentaje de observaciones meteorológicas. Como veremos después, las observaciones meteorológicas, es decir, las observaciones que fijan como es el tiempo hoy, son un ingrediente fundamental en la alimentación de estos modelos, que nos dan como será el tiempo mañana o dentro de tres días.

Como en el Hemisferio Norte hay más observaciones, la calidad de las predicciones en el Hemisferio Norte es mejor. La tercera cosa que pueden observar ustedes (esta estadística empieza en 1980 y termina en el año 2013) es que, a medida que han pasado los años, la calidad de las predicciones ha ido mejorando, de manera que, hoy en día, la calidad de las predicciones con tres días de antelación puede decirse que está en promedio por encima del noventa y cinco por ciento. Ya les digo que cien es el valor perfecto.

Los errores han disminuido más, la calidad ha aumentado más, contra mayor era el plazo de predicción, puesto que partíamos de un error mayor.

Y una cosa que sí que podemos observar es que, a partir del año 2000, la calidad de las predicciones en el Hemisferio Norte y en el Hemisferio Sur se han igualado de tal manera que ahora ya son prácticamente indistinguibles. Eso significa que ya no hay tanta diferencia en la calidad de los modelos en uno y otro hemisferio, debido fundamentalmente a que los modelos han empezado a, lo que nosotros llamamos a asimilar, a introducir en ellos las observaciones por satélite.

Una gran ventaja de las observaciones que se hacen con satélite meteorológico, el Meteosat (es el que seguramente habrán oído ustedes hablar más de él pero hay muchos más que hay en órbita alrededor de la Tierra), es que la cobertura de las observaciones, la calidad de las observaciones que hacen, es exactamente la misma en el Hemisferio Norte y en el Hemisferio Sur, e incluso esta calidad es mejor cuando el satélite pasa sobre el mar, sobre el océano, que sobre tierra, porque tiene menos perturbaciones, de manera que una cosa compensa la otra y como ven, ya en estos últimos años, claramente la calidad de las predicciones en el Hemisferio Norte y en el Hemisferio Sur es la misma.

Una cosa más que pueden observar fácilmente es como, con esta línea negra, la calidad que en 1980 tenían las predicciones a tres días en el Hemisferio Norte, en el año 2000 la tuvieron en promedio las predicciones a cinco días en el mismo hemisferio.

Eso significa que necesitamos veinte años de investigación meteorológica para mejorar nuestras predicciones en dos días. O sea, que en promedio necesitamos diez años de investigación en todo el mundo para que la calidad de nuestras predicciones mejore en un día, en veinticuatro horas. Eso les da a ustedes una idea de la complejidad del problema de la modelización de la atmósfera. Una situación en la que diferentes movimientos estables de cada molécula de aire individual, o de CO₂, o de cualquier otra cosa, influye hasta la mezcla de las grandes estructuras meteorológicas como las borrascas, o los frentes, todas estas cosas que se ven más en televisión.

En el Hemisferio Sur esa mejora de la calidad ha sido ligeramente más corta, puesto que se partía de una base peor y la mejora de dos días sólo ha tardado, “sólo” digamos, entre comillas, quince años de investigación y lo mismo nos ha ocurrido con la calidad de las predicciones de entre con cinco días y con siete días de antelación.

En la Península Ibérica, no España como nación, porque la Meteorología, como ustedes entienden y saben, no tiene fronteras. La Península Ibérica como entidad geográfica, en la que se incluye Andorra, tiene una Meteorología muy variada que la hace muy atractiva, muy interesante, pero muy difícil de predecir.

Nosotros tenemos muchas montañas de alturas muy diferentes. Tenemos muchos mares que rodean la Península Ibérica, sobre todo el Mediterráneo Occidental, que es un mar cuasi cerrado. Lo que significa que el calentamiento solar en verano aumenta mucho la temperatura del agua y cuando llega el otoño esa agua que está sobre-calentada, que tarda más en enfriarse que la tierra de alrededor por la capacidad calorífica del agua, hace que sean muy frecuentes los fenómenos convectivos, las tormentas, las precipitaciones intensas en otoño, en toda la costa mediterránea, en el más amplio sentido de la palabra.

De manera que no es raro que cada otoño tengamos episodios en la costa mediterránea de la

Península Ibérica y del sureste de Francia, en toda la costa del Mediterráneo Occidental, con más de trescientos o cuatrocientos milímetros de precipitación caídos en muy pocas horas. Lo que supone todo un desafío tanto para la predicción meteorológica, como para las autoridades que se encargan de la protección de los bienes. Porque los servicios meteorológicos sólo se encargan de predecirlo con algunas horas de antelación, pero las otras instituciones del país deben estar previamente preparadas para hacer frente a esto que va a suceder todos los años. No todos los años en el mismo sitio, no todos los años en el mismo día, pero todos los años en la misma zona. El país ha de tener sus infraestructuras preparadas para lo que no es Meteorología, sino simplemente climatología.

Como les pasa a ustedes aquí en Andorra, en el trabajo que han detallado mis predecesores en el tema de la Meteorología y las condiciones invernales, es difícil saber si mañana, a las diez de la mañana, va a estar nevando en Andorra y se van a cerrar las carreteras o va a haber que poner en marcha un operativo para que no se cierren las carreteras por la nieve. Pero es mucho más fácil predecir que entre el mes de octubre y el mes de febrero de este año, esto va a ocurrir en Andorra muchas veces.

Eso nos pasa con la precipitación en España. Pasa también con los vientos locales. Los vientos como la Tramontana en las islas Baleares, el Cierzo en Aragón, los vientos de Mistral en el norte de Catalunya. También es difícil saber si mañana, exactamente, va a haber un viento de éstos. Pero es mucho más fácil saber que, en otoño y en primavera, estos vientos son muy frecuentes y que, por tanto, tenemos que estar preparados para hacer una adecuada predicción.

Uno de los ingredientes principales de los modelos matemáticos de predicción, son las observaciones. O sea, lo primero que necesitamos saber exactamente, con la mayor exactitud posible, porque siempre tenemos una incertidumbre, es cuál es el estado de la atmósfera ahora mismo, cuando vamos a empezar a integrar nuestro modelo matemático. Esto se hace a través de observaciones que se hacen en todo el mundo a la misma hora exactamente. La Meteorología, como ya les he dicho, no conoce de fronteras y los meteorólogos, por tanto, siempre hemos tenido que trabajar en colaboración, porque la situación meteorológica que mañana va a influir en España, seguramente es la que hoy podemos conocer por las observaciones de Portugal. No por las de España. Y la Meteorología que mañana va a influir en Italia o en Francia, es la que hoy se puede conocer con las observaciones de España o de Inglaterra. Y por tanto, todos estamos interesados en intercambiar estas observaciones.

Para que se hagan una idea, aquí tienen cual es la cobertura global de un día cualquiera (el 19 de agosto del 2004) de observaciones, en lo que nosotros llamamos observaciones convencionales, es decir, observaciones en observatorios tradicionales meteorológicos (con un termómetro, un higrómetro, un anemómetro, una veleta, etc.).

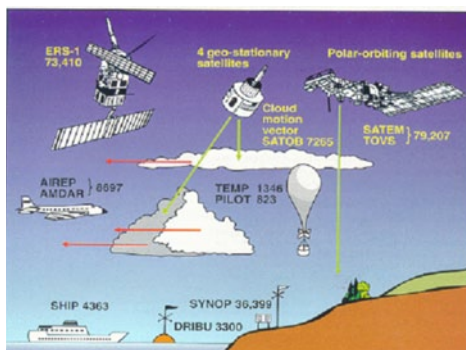


Figura 2. Observaciones usadas

Como ven, en toda la Tierra se hacen unas veintiocho mil observaciones cada hora del tiempo, de esas condiciones meteorológicas en la superficie de la Tierra.

Pero sin embargo también pueden ver claramente lo que antes les comentaba, la densidad de este tipo de observaciones es claramente diferente entre países desarrollados y países subdesarrollados, entre por supuesto, tierra y los océanos, donde esas observaciones son mucho más difíciles porque están basados en observatorio que se encuentran en islas.

Otro tipo de observaciones son las observaciones, no de la superficie de la Tierra, sino de toda la estructura vertical de la atmósfera, porque nuestros modelos no solamente tienen que conocer la situación meteorológica en la superficie de la Tierra, sino en todas las alturas hasta los treinta o treinta y cinco kilómetros de altura, porque la atmósfera es un todo en el que todas las cosas influyen en todas.

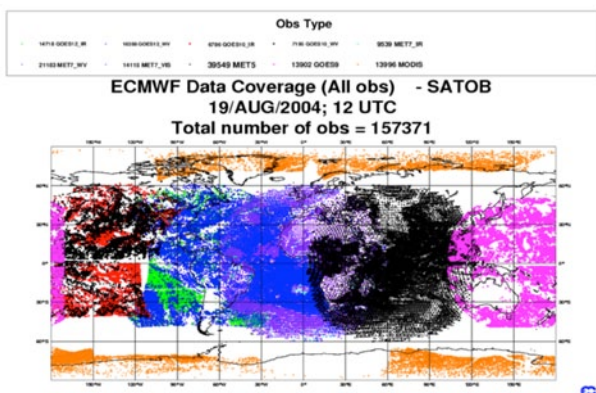


Figura 3. Asimilación de datos

Como ven el número de observaciones de estos perfiles verticales de la atmósfera es mucho más pequeño, son quinientos nada más y se hace una observación de estas solamente cada doce horas, pero son muy útiles para los modelos. Estos tipos de observaciones eran las únicas disponibles hasta que, al principio de los años 2000, las observaciones de satélites meteorológicos empezaron a introducirse en los modelos. Como ven ustedes el número aumentó dramáticamente solamente este tipo de observaciones. Estos son satélites de órbita polar, que son aquellos cuya órbita pasa por el Polo Norte y el Polo Sur y pasan por cada lugar cada cuatro o cinco horas. Pues de estos podemos tener en un momento cualquiera para alimentar nuestro modelo, unas 180.000 observaciones.

Luego están los satélites geoestacionarios, entre ellos el Meteosat, que observan la misma zona. Rotan alrededor de la Tierra con la misma velocidad que la que la Tierra rota y por tanto cubre en cada momento la misma zona. De éstos también tenemos 160.000 observaciones para cada momento en el que nosotros queremos inicializar nuestro modelo.

¿Qué es el modelo? El modelo no son más que las ecuaciones físico-matemáticas que rigen el comportamiento de la atmósfera. La atmósfera es un fluido, es aire, como el agua y como cualquier otro gas y por tanto su comportamiento se rige por ecuaciones físico-matemáticas que se programan. Se ponen en forma de programas de ordenador que hacen los cálculos sobre una rejilla.

Cada punto de esta rejilla, que ustedes pueden ver aquí, representa, en realidad, un conjunto de puntos en la vertical. Tienen que imaginarse que esta rejilla la forman capas concéntricas con la Tierra hasta treinta y cinco kilómetros de altura, y en cada uno de estos puntos, es en los que se resuelven las ecuaciones matemáticas y se calcula el valor de los parámetros meteorológicos, diez o quince minutos después. Y a base de ir de 15 minutos en 15 minutos, tenemos las previsiones a un día, a tres días, a cinco días, a siete días. Un parámetro muy importante de nuestros modelos, además de la calidad del modelo, es la separación en kilómetros entre dos de estos puntos de rejilla. Contra más juntos estén estos puntos de rejilla, mejor será

la representación que nuestro modelo tendrá de la superficie de la tierra, de la orografía, de los tipos de suelo y por tanto mejores serán los resultados que nosotros obtendremos. Por ejemplo, como pueden ver esta parte roja centrada alrededor del Reino Unido, contra mayor sea la resolución el mismo modelo nos dará mejores resultados. Nuestro problema es que contra mayor es la resolución más puntos de rejilla tenemos y por tanto más cálculos tenemos que hacer y por tanto más tiempo tardamos en resolver nuestro modelo. Es obvio que para que un modelo sea útil, tiene que resolver su predicción en muy poco tiempo. De nada nos serviría un modelo perfecto que tardara 24 horas en darnos la previsión meteorológica a 24 horas, porque para cuando la tuviéramos ya no tendría sentido de anticipación. De manera que entonces para resolver adecuadamente estas ecuaciones en esta rejilla, necesitamos enormes superordenadores de cálculo.

Esto que ven en la figura 5 es una foto del Superordenador del Centro Europeo (ECMWF), que les decía antes, que está en Reading en el Reino Unido y que se financia con las aportaciones de todos los países europeos.

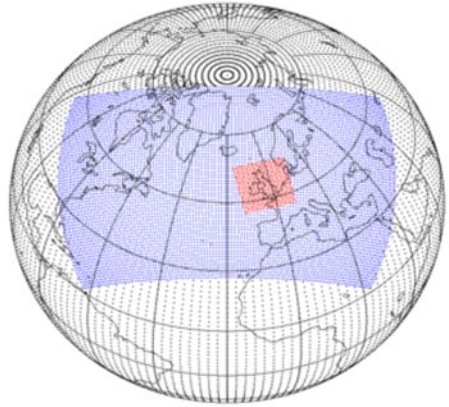


Figura 4. Rejilla de cálculo



Figura 5. Super-ordenadores

Potencia máxima de cálculo: ~1,478 Tflops
 à 1 478 000 000 000 000 ops/segundo

Para que se hagan una idea, por darles un número, la potencia máxima de cálculo de este ordenador es de 1,478 Teraflops, lo que significa que este ordenador es capaz de hacer 1.478 billones con B de operaciones por segundo. Operaciones que no son más que sumas y restas pero, como ven ustedes, es capaz de hacer muchas. Éste es el tipo de ordenador que necesitamos para resolver nuestros modelos matemáticos y obtener una predicción para todo el globo, para todo el mundo, a diez días, en tan solo tres horas de tiempo de ordenador, para que esté hecha con la suficiente antelación.

Uno de los parámetros fundamentales en todo modelo, además de otras muchas otras cosas, es la resolución. Es decir, la distancia en kilómetros que hay entre esos dos puntos de rejilla. Contra menor es la distancia, mayor es la resolución, mejor es la representación que el modelo tiene por ejemplo de la orografía y, por tanto, mejor es la predicción que vamos a tener con ese modelo, en todo tipo de lugares, pero sobre todo en los lugares montañosos.

Para daros un ejemplo, así es como se ve la orografía de la Península Ibérica en un modelo con 50 kilómetros de resolución.

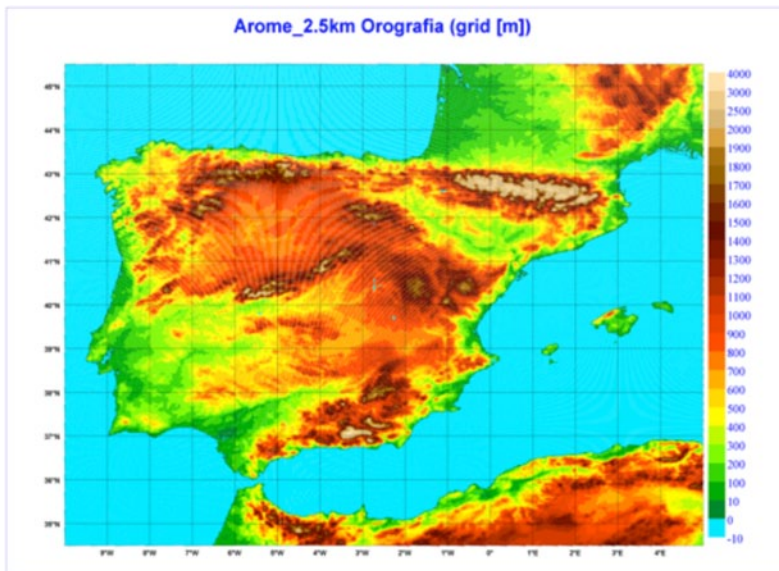


Figura 6. Arome_2,5km Orografía (grid [m])

Es decir, aquel que tiene un nudo de cálculo, un punto de cálculo cada 50 kilómetros. Como ven, efectivamente se ven los Pirineos, el Sistema Central, el Cantábrico, el Valle del Ebro, pero los Pirineos no son más que una especie de colina alargada. No hay valles, no hay pasos, no hay de nada.

Con el mismo modelo, pero a una resolución de 15 kilómetros, ya empezamos a distinguir

algunos macizos individuales dentro de las cordilleras generales que distinguíamos en el anterior, con muchos más detalles en los valles de los ríos, por ejemplo, etc. Este mismo modelo a 5 kilómetros de resolución, empieza a darnos ya una visualización mucho mayor.

A 5 kilómetros de resolución, ésta es la actual resolución del modelo operativo de la Agencia Estatal de Meteorología de España de ahora mismo, con el que cada día hacemos nuestras predicciones.

Lo que yo les vengo a enseñar aquí es cómo va a ser el futuro, cómo va a ser lo nuevo para el año que viene, que es un modelo a 2,5 kilómetros (ver figura arriba). O sea con el doble de resolución en el que, como pueden ver a simple vista, hay mucho más detalle en los Pirineos.

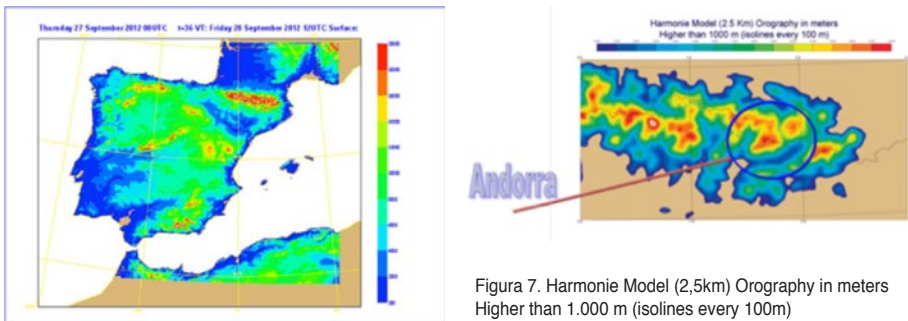


Figura 7. Harmonie Model (2,5km) Orography in meters Higher than 1.000 m (isolines every 100m)

Si hacemos un zoom sobre Andorra, por ejemplo, hay mucho más detalle en toda la estructura de valles y pasos que tiene los Pirineos, que en el modelo de a 50 kilómetros de resolución.

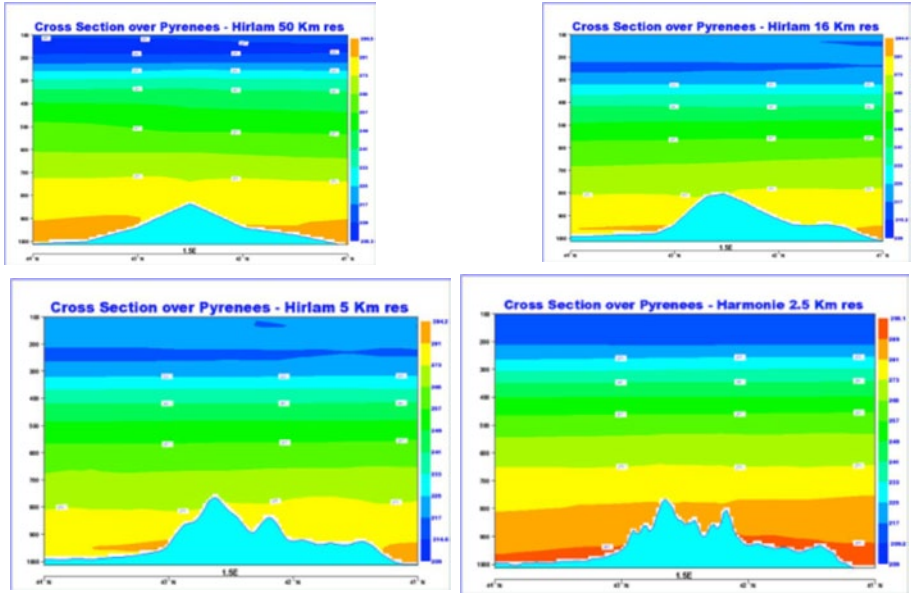
De manera que llevamos un año probando este modelo, que no es el modelo operativo, sino que lo llevamos probando en paralelo con el operativo y comparando nuestras predicciones con las observaciones. Y llevamos un año comprobando que los resultados de este modelo son mejores que los del modelo operativo.

Nuestro único problema es que, para poder poner operativo este modelo, necesitamos un ordenador mucho más potente que el que ahora tenemos y estamos en el proceso de adquirirlo. Para que se hagan una idea, aquí les muestro 4 secciones transversales de cómo es la orografía de los Pirineos en estos modelos, a través de Andorra.

Esto es una línea de entre 44 y 41 grados de latitud y 1,5 grados de longitud oeste, más o menos lo que pasa por Andorra. Como ven arriba a la izquierda, el modelo de 50 km toma los Pirineos como una especie de colinita, digamos, única sin el menor detalle interno, y por tanto digamos que, ustedes como valle, no existen para este modelo, o están en la cima probablemente o muy cerca de la cima y por tanto no podemos esperar de un modelo de esta resolución, que dé ningún detalle sobre cómo son los vientos en Andorra o cómo se distribuyen las precipitaciones en las carreteras, según la altura o según que estén en la ladera de solana o de umbría porque para este modelo todo es solana o todo es umbría.

Este mismo modelo a 16 km empieza a tener ya un poco más de detalle. Ya no es una única colina. Ya la orografía es un poco más escarpada.

En el caso de nuestro modelo actual operativo, de abajo a la izquierda, de 5 km de resolución,



Figuras 8

yo no estoy muy familiarizado con la geografía de estos alrededores, pero aquí ya hay un cierto detalle. Por lo menos hay aquí un valle de alguna manera.

Y éste es el nuevo modelo de 2,5 km de resolución que da esta orografía, pueden ver que aquí hay mucho más detalle. No es por supuesto la orografía real, porque para esto necesitaríamos otra resolución, no de 2 kilómetros, sino de 1 metro. Pero tiene mucho más parecido con la realidad y por tanto se puede ver, por ejemplo aquí, que esto es una ladera de umbría claramente y esto es una ladera puede que de solana, en algún momento del mediodía, que

en este otro modelo no existe. En cuestión de precipitaciones y de nevadas exactamente lo mismo.

Se pueden observar los resultados de este modelo en episodios, como ven aquí, de lluvias fuertes de los que suelen ocurrir cada mes de septiembre en el Mediterráneo.

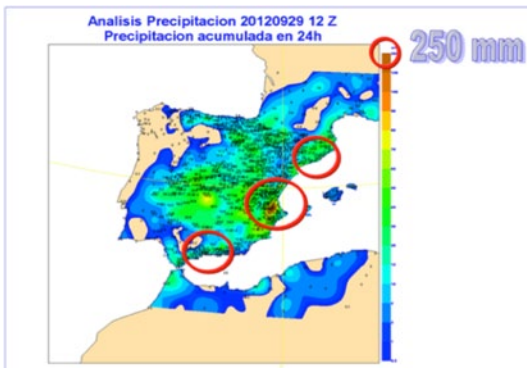


Figura 9. Heavy precipitation rain over Southern Spain- September 2012- Acc Precip from Objective Analysis

La figura 9 en concreto es de septiembre del 2012, en menos de 36 horas, con núcleos de 200 mm de precipitación en Andalucía, después en Valencia, y al final en Catalunya y todo el Pirineo Oriental. El modelo dió precipitaciones en torno a los 200 mm, que es una cantidad bastante aproximada a la realidad y bastante bien localizada.

En el caso de los vientos (figura 10) la mejora en la representación de la orografía claramente se transmite en una mejora de los datos de dirección de velocidad de viento. Esto es un episodio clásico de mistral en la zona de Toulouse y Carcasonne en Francia y en la zona de Girona y de tramontana en las islas Baleares.

La tramontana es un viento muy importante para todo lo que significa navegación en el Mediterráneo occidental, porque son vientos muy fuertes, muy racheados y que, como la cubeta del Mediterráneo occidental es muy poco profunda, las olas que generan tienen un período muy corto. El problema que tienen los barcos para navegar es que, no son capaces de entrar y salir de la ola, sino que cuando la parte de atrás del barco está sobre la ola y la siguiente ola pega en la parte de delante del casco, esto somete el casco a unas tensiones que, según los ingenieros navales, hacen muy dificultosa la navegación.

Esto es una gráfica simplemente en velocidades en km por hora, como ven, con núcleos de más de casi 80 km por hora en viento medio, resultado de este modelo.

En un proyecto que estamos realizando con este modelo para el Campeonato del Mundo de Vela, que se celebrará en Santander en el verano del 2014, esto es la Bahía de Santander (figura 11), pues como ven la resolución del modelo permite obtener diferentes del viento ligeramente



Figura 10. 10m wind
HARM Viento 10m (km/h max 6hr)
30/11/2013 00z HARM H+24 Valid: 01/12/2013

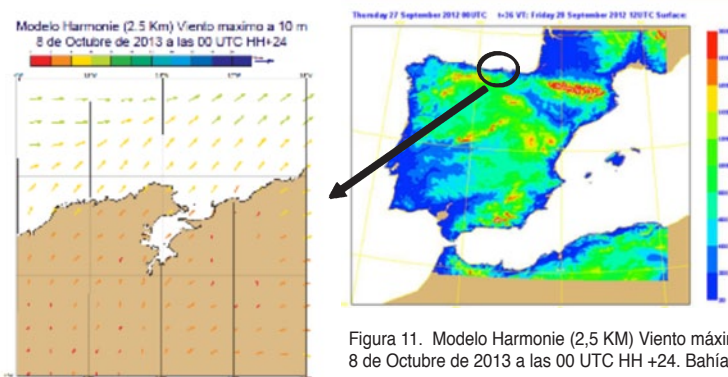


Figura 11. Modelo Harmonie (2,5 KM) Viento máximo a 10 m
8 de Octubre de 2013 a las 00 UTC HH +24. Bahía de Santander

diferentes también de acuerdo con la pequeña orografía alrededor de la Bahía de Santander, es decir, no solamente son las grandes cadenas montañosas, sino la pequeña orografía, la que también nos permite, con un modelo de esta resolución, de esta calidad, obtener vientos más parecidos a la realidad.

Pero esto es lo que estamos haciendo ahora. Lo que el año que viene podremos hacer cada día para que nuestras predicciones en la televisión sean mejores. Pero ¿cuál es el futuro? El futuro de la modelización matemática no es la modelización de la atmósfera, sino la modelización de todo el sistema de la Tierra. Es decir, la modelización de la atmósfera, de los océanos, de los suelos, de los subsuelos, de todo el sistema climático. Y que eso que ahora podemos hacer a escalas climáticas, simplemente porque la resolución no es muy alta y necesitamos mucho tiempo para calcularlo, podamos hacerlo en tiempos de horas, como estamos haciendo ahora con nuestros modelos presentes, para poder dar predicciones a ocho, o diez días, cada día, como digo, no solamente del estado de la atmósfera, sino de los gases de la atmósfera, de los gases contaminantes, de la composición química de la atmósfera, de la composición del suelo, del subsuelo, del océano, de todo el ciclo hidrológico, etc.

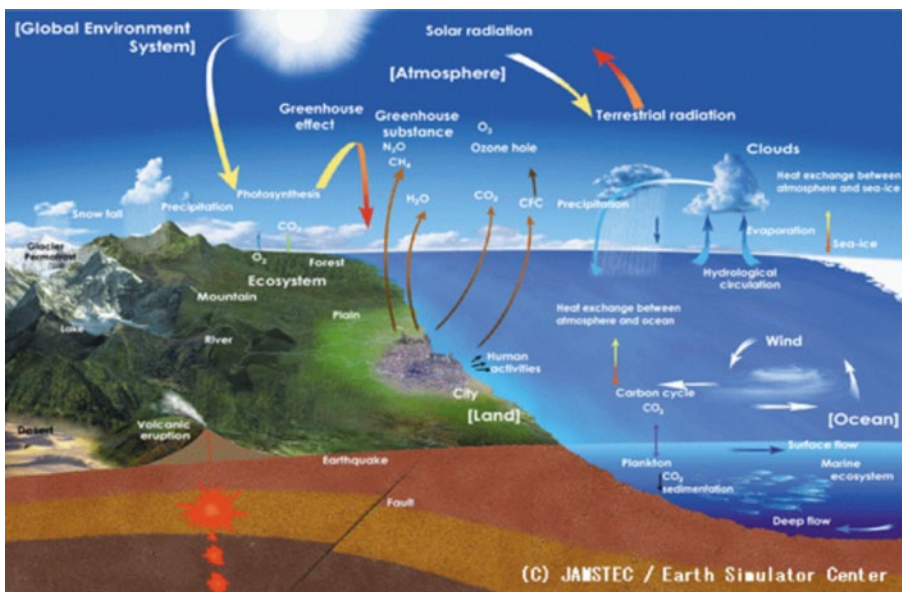
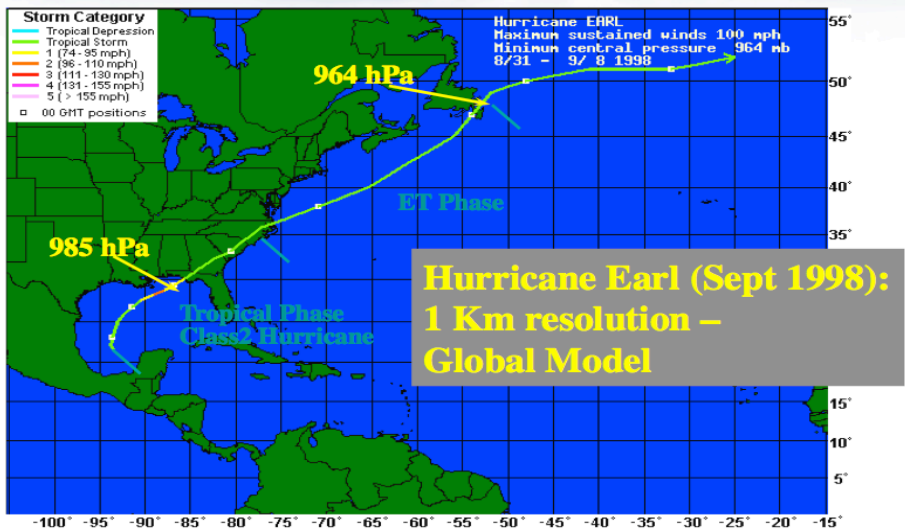


Figura 12. The Earth System

Esto es lo que esperamos en el futuro con la nueva generación de ordenadores pero, para que se hagan una idea, les voy a mostrar ahora unos resultados de uno de estos modelos. Acuérdense que este es un modelo global para que vean cual es el detalle. Como ven: Norteamérica, el Golfo de Méjico, y esta es la génesis de un ciclón tropical, que luego se movió hacia la costa de Estados Unidos y otro en el interior del Golfo de Méjico.



Cortesía de Michel Desgagné, RPN, Canadá

Figura 13. Hurricane Earl (Sept 1998): 1 km resolution- Global Model

Como pueden ver éste es un modelo a 1 km de resolución a escala global, es decir, que cubriendo todo el globo, hay 1 km entre cada dos nudos de cálculo y, como pueden ver, el sistema de borrascas a todos los niveles, en latitudes medias, Islandia, islas que afectan a Europa, ciclos tropicales en las Rocosas, con detalles enormes, solamente que ahora con los ordenadores actuales, para las interpretaciones de estos modelos, tardan días y por tanto no tiene sentido hablar de modelos operativos en este sentido.

En un zoom de este mismo modelo, pueden ver como en la génesis de este ciclón tropical en el Golfo de Méjico, prácticamente pueden distinguirse las nubes convectivas, las nubes de tormenta individuales, lo que significa que la representación que el modelo tiene del estado de la atmósfera es mucho mejor y la predicción que es capaz de hacer es de muchísima más calidad, que la que nosotros podemos hacer ahora con nuestros modelos de 2 km.

Pero como les digo, el asunto es que necesitamos una nueva generación de superordenadores

de cálculo para que podamos considerar la posibilidad de que este tipo de modelos puedan ser operativos.

Y esto es todo.

Con esto, he querido darles es una visión de cómo es el proceso que termina en lo que casi todo el mundo ve de las predicciones meteorológicas, que son los meteorólogos o no meteorólogos que salen por la televisión, pero que detrás hay todo un trabajo de ciencia meteorológica que, como les decía al principio, en general nos lleva a que necesitemos diez años de investigación a nivel mundial para que la calidad de nuestras predicciones aumente en veinticuatro horas.

Gracias.