



Meteorología Aeronáutica

Unidad 2

Predicción Numérica



Temario

Predicción Numérica

Puntos de grilla

Condiciones de borde

Limitaciones

NOTAS

ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY

• Predicción Numérica

Durante la Segunda Guerra Mundial se hizo más importante la necesidad de una predicción del tiempo fiable para el desarrollo de las operaciones militares. Por entonces se generalizaron las observaciones de la media y alta atmósfera, con ayuda sobre todo de globos sonda, de modo que fue posible elaborar mapas meteorológicos de niveles medios y altos de la troposfera, no sólo de superficie. Posiblemente la predicción más famosa de todos los tiempos fue la que hicieron los meteorólogos dirigidos por el capitán James Stagg avisando al Alto Mando Aliado para que retrasara 24 horas el Día D, o sea, el Desembarco de Normandía.

En 1975 se constituyó el Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF por sus siglas en inglés), con su sede en Reading, Inglaterra, como un proyecto de colaboración entre los servicios meteorológicos europeos, a los que suministraría predicciones de medio plazo.

NOTAS

ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY

• Predicción Numérica

Tradicionalmente se ha distinguido entre la “dinámica” y la “física” de los modelos. Con la “dinámica” se hace referencia a los movimientos a gran escala de la atmósfera, consecuencia de los grandes gradientes de temperatura y presión, junto con la rotación de la Tierra, y está relacionada con la conservación del momento, masa, energía y agua.

Con la “física” se hace referencia a todos los demás procesos que ocurren en la atmósfera a escalas menores, pero igualmente esenciales, y que están relacionados con las fuentes y sumideros de las mismas cantidades cuya conservación describen las ecuaciones dinámicas. La división entre “dinámica” y “física” es bastante arbitraria, realmente, ya que todo lo que ocurre en la atmósfera implica a la física, pero tiene una enorme utilidad y se ha usado desde que existen los modelos de NWP.

NOTAS

ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY

- **Predicción Numérica**

Para resolver las ecuaciones de pronóstico, la mayoría de los modelos numéricos utilizan datos representados como valores sobre una malla o cuadrícula, o bien en forma espectral. Esta es una representación de puntos de malla. Encontrará una ilustración de una representación espectral en la próxima sección.

En la atmósfera real, la temperatura, la presión, el viento y la humedad varían de un lugar a otro de forma continua y gradual.

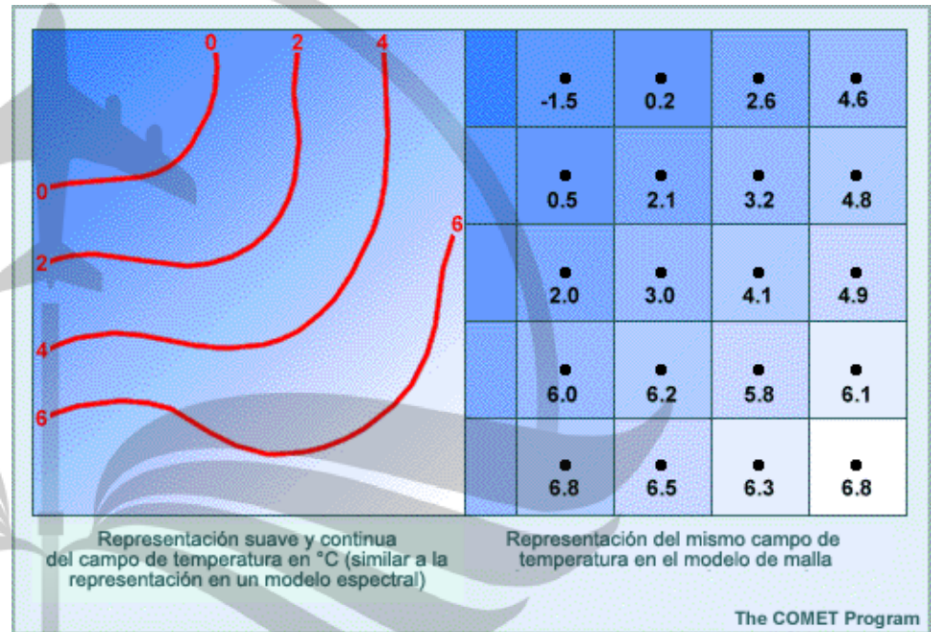
NOTAS

ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY

• Predicción Numérica

En esta figura, el campo continuo de temperatura está representado por isotermas rojas, en grados Celsius. Sin embargo, los modelos de malla ejecutan sus cálculos en una matriz fija de **puntos de malla** que no están conectados en el espacio. Como en realidad los valores de los puntos de malla representan un promedio del área dentro de una celda, el campo continuo de temperatura representado por los tonos azules se debe representar por medio de un solo valor de temperatura, los números negros, en el panel de la derecha.



NOTAS

- **Predicción Numérica**

Al igual que la configuración horizontal y el tipo de modelo, la estructura vertical es fundamental para establecer el comportamiento del modelo. Para poder representar apropiadamente la estructura vertical de la atmósfera es necesario seleccionar un sistema de coordenadas adecuado y una resolución vertical suficiente.

A diferencia de la estructura horizontal, cuya configuración puede ser discreta o continua (de malla o espectral), la estructura vertical de prácticamente todos los modelos operativos es discreta. Esto significa que los pronósticos que producen representan un promedio de una capa atmosférica entre las superficies de las coordenadas verticales, no en las superficies mismas.

NOTAS

ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY

• Predicción Numérica

La resolución horizontal de un modelo numérico de predicción del tiempo está relacionada con la distancia entre los puntos de malla, en el caso de un modelo de malla, o con el número de ondas que se pueden resolver, en el caso de un modelo espectral.

Para nuestros propósitos, «resolución» se define en términos de la distancia entre puntos de malla o del número de ondas, y representa el área promedio que describe cada punto de malla o el número de ondas utilizadas, según el tipo de modelo de que se trate.

Observe que las estructuras más pequeñas que un modelo puede representar con exactitud son varias veces más grandes que la «resolución» de la malla. De hecho, no es posible representar o pronosticar fenómenos de dimensiones de la misma escala que el espaciado de la malla.

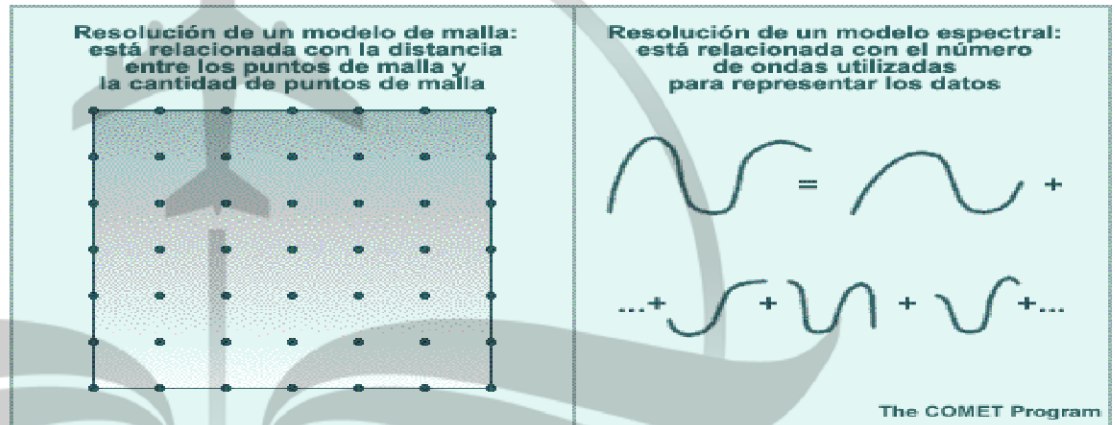
NOTAS

ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY

• Predicción Numérica

Si bien la resolución horizontal juega un papel clave en la habilidad del modelo para resolver características, otros factores, como la resolución vertical, las coordenadas verticales y el paquete de física, también tienen un impacto significativo.



NOTAS

ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY

• Predicción Numérica

La resolución horizontal de un modelo de malla se define como la distancia media entre puntos de malla adyacentes que utilizan las mismas variables. Por ejemplo, si todas las variables de pronóstico de un modelo (componente u del viento, componente v del viento, temperatura y humedad, etc.) se pronostican en cada uno de los puntos de la malla, se considera que el modelo tiene una resolución igual a la distancia mínima entre los puntos de malla adyacentes en una latitud y longitud específica.

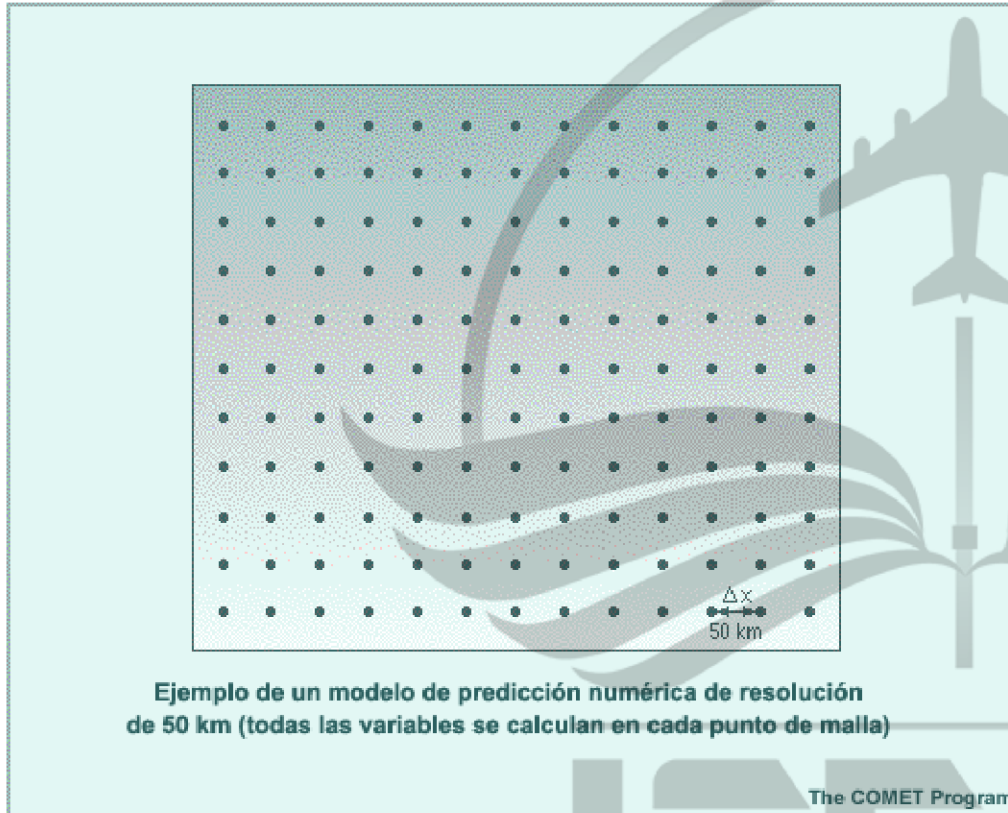
En el ejemplo, todas las variables se calculan en cada punto de la malla, de modo que la resolución es 50 km. Un modelo similar con una distancia de 10 km entre puntos de malla adyacentes tendría una resolución horizontal de 10 km. ¡Pero eso no significa que es capaz de resolver estructuras de 10 km de ancho! Como veremos más adelante, un modelo con una «resolución horizontal de 10 km» apenas logra detectar estructuras de 20 km de ancho y puede hacer predicciones razonables para fenómenos de 50 a 70 km, mejor aún si abarcan 100 km.

NOTAS

ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY

• Predicción Numérica



Que un modelo se considere de alta o baja resolución depende del tamaño del dominio y de la escala de los fenómenos atmosféricos que el modelo pretende pronosticar. Una resolución del orden de 20 a 50 km se considera alta para un modelo global, mientras que para un modelo de la escala de una tormenta una resolución de 100 a 500 m se considera alta y necesaria para resolver los procesos de convección internos.

Categorizar los modelos por su resolución (alta o baja) realmente no es útil, porque se trata de un término relativo que cambia siempre que aparecen nuevos modelos. Independientemente de su dominio, un modelo que hoy se considera de alta resolución puede pasar a ser un modelo de baja resolución mañana.

• Predicción Numérica

Dos factores limitan la representación de la orografía en el modelo:

- ✓ la resolución horizontal del modelo;
- ✓ la resolución horizontal del conjunto de datos del terreno.

Si el conjunto de datos del terreno es grueso o aproximado, no podrá proporcionar a un modelo de alta resolución los detalles topográficos que necesita. Si el modelo no puede resolver las características topográficas, los detalles provistos por el conjunto de datos del terreno se promedian. En la mayoría de los casos, cierto grado de suavizado del terreno es deseable, en parte porque el flujo de aire sobre terreno complejo genera ruido de pequeña escala que puede encubrir la señal de gran escala.

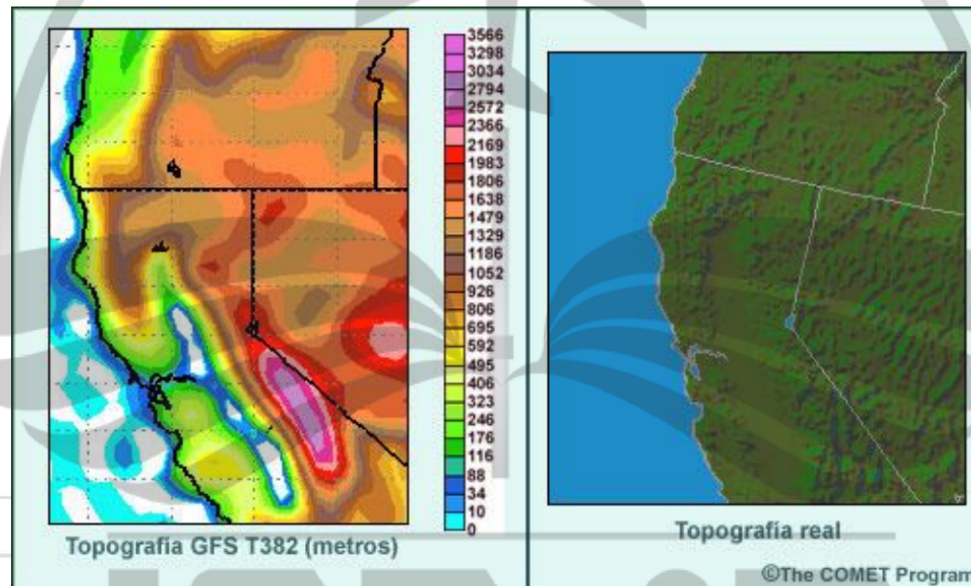
NOTAS

ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY

• Predicción Numérica

Como ya vimos, tanto la resolución del modelo como el suavizado de la topografía influyen en la representación de la superficie por el modelo. Los siguientes mapas ilustran los efectos de la resolución y el suavizado de la topografía en el modelo en comparación con el terreno real.

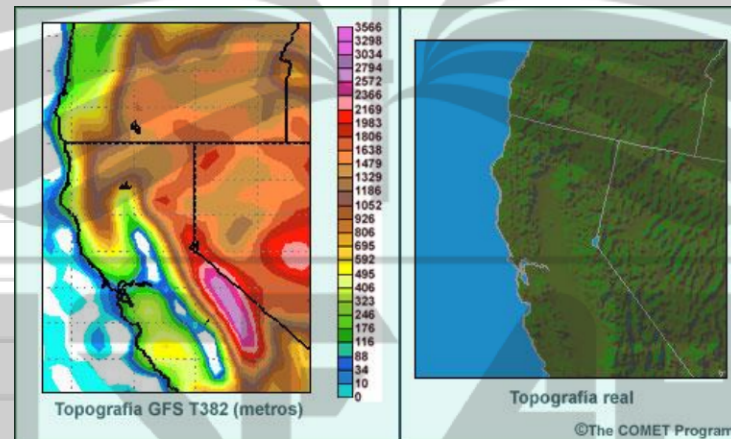


NOTAS

• Predicción Numérica

Entre las imperfecciones más comunes en la representación de la topografía en el modelo cabe mencionar:

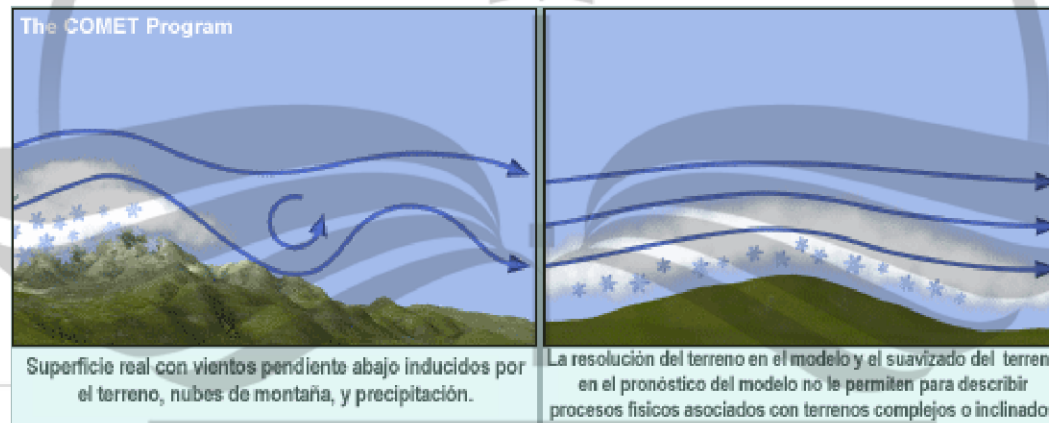
- ✓ La elevación de las cumbres de las montañas más altas suele ser menor que en la realidad.
- ✓ A menudo, los valles no se representan o se representan con menos diferencia de elevación entre los picos y el fondo de los valles que en la realidad (es decir, los valles «se llenan»).
- ✓ La elevación de los sistemas montañosos se distribuye sobre un área horizontal excesivamente amplia, lo cual se debe a promediar el terreno en cada celda de la malla.
- ✓ Los gradientes de elevación se subestiman, especialmente en regiones de terreno muy inclinado y complejo.



NOTAS

• Predicción Numérica

La representación de la topografía de la superficie por el modelo determina su capacidad de pronosticar las estructuras meteorológicas inducidas por el terreno. Como se ilustra a continuación, si un modelo no representa un accidente topográfico, no puede resolver o pronosticar un fenómeno meteorológico inducido o influenciado por esa estructura topográfica. Los modelos tienen problemas de resolución, especialmente en regiones de terreno complejo, como el oeste de los Estados Unidos, Alaska, Hawái e incluso los Apalaches.



NOTAS

• Predicción Numérica

En el ejemplo, se está produciendo un evento de viento de ladera descendente y nieve a barlovento de la montaña sobre una región de topografía inclinada y compleja. La topografía se ha suavizado para dar al modelo de malla hipotético cierta estabilidad computacional, pero eso significa que el modelo no puede describir con exactitud los procesos físicos que están ocurriendo en la realidad.

Lo más probable es que el modelo no pueda pronosticar el evento catabático, ni el rotor del viento, ni la sombra de lluvia. Como resultado, las nubes a barlovento y la precipitación se esparcirán sobre un área más grande y serán de menor intensidad que en la realidad. El resultado sería el mismo si un modelo de resolución gruesa utilizara un conjunto de datos topográficos detallados o si un modelo de resolución fina utilizase un conjunto de datos topográficos poco detallados.

NOTAS

ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY

• Predicción Numérica

¿Por qué no se ejecutan modelos de malla de alta resolución con características detalladas del terreno a la misma escala que la distancia entre puntos de malla? La respuesta es que las ondas a una escala de unos cuantos puntos de malla se representan mal y se pronostican aún peor.

Además, a medida que la energía se acumula en los modelos a escalas de tres puntos de malla o menos, los métodos computacionales pueden «estallar» y detener la ejecución del modelo antes de que termine de generar un pronóstico. Por lo tanto, es preciso suavizar la topografía para impedir que se produzcan estas ondas de pequeña escala.

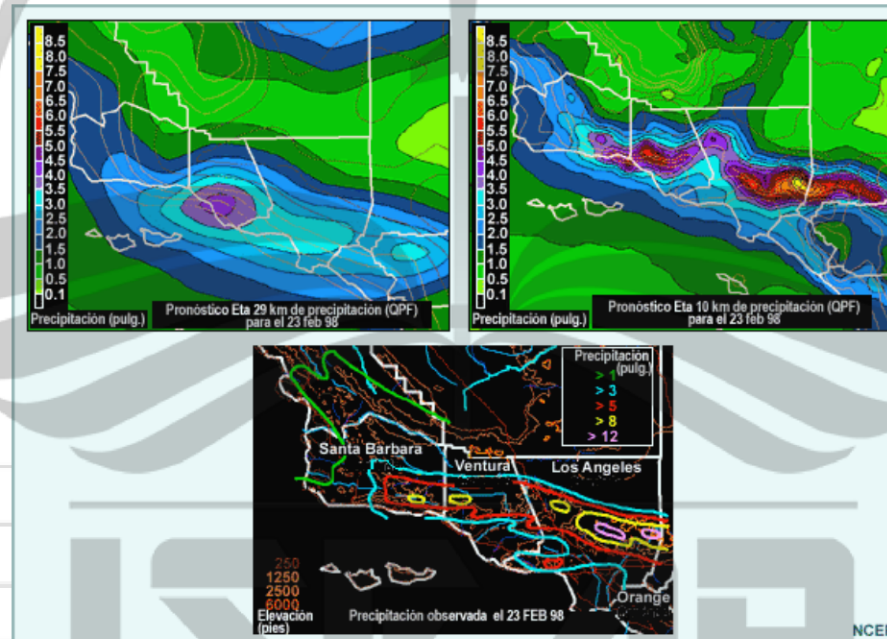
NOTAS

ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY

• Predicción Numérica

Este caso, un evento de fuerte precipitación en la cuenca de Los Ángeles, ilustra el efecto de aumentar la resolución y representar la topografía con mayor detalle. Para obtener pronósticos exactos de la ubicación y cantidad de precipitación, tanto el modelo como los conjuntos de datos topográficos empleados por el modelo deben ser de alta resolución.



NOTAS

- **Predicción Numérica**

Los modelos también tienen dificultad para resolver estructuras influenciadas o causadas por las zonas de contacto entre las masas de tierra y los cuerpos de agua grandes. Esto incluye las regiones costeras oceánicas y aquellas cercanas a los lagos grandes. Dada la gran diferencia en las propiedades de la tierra y del agua, un modelo cuya resolución no es suficiente para determinar su ubicación representará mal los procesos en los que influyen o que ocurren en las zonas de contacto entre tierra y agua.

Por ejemplo, los Grandes Lagos de América del Norte no están bien definidos en algunos modelos globales y regionales debido a una resolución horizontal insuficiente. En otros casos, es posible que el modelo coloque la zona de contacto entre tierra firme y mar en el lugar incorrecto, o que defina inadecuadamente sus límites. Los lagos menores se reconocen solo en los modelos de mesoescala y de escala local de resolución muy fina y no se representan en la mayoría de los modelos operativos.

NOTAS

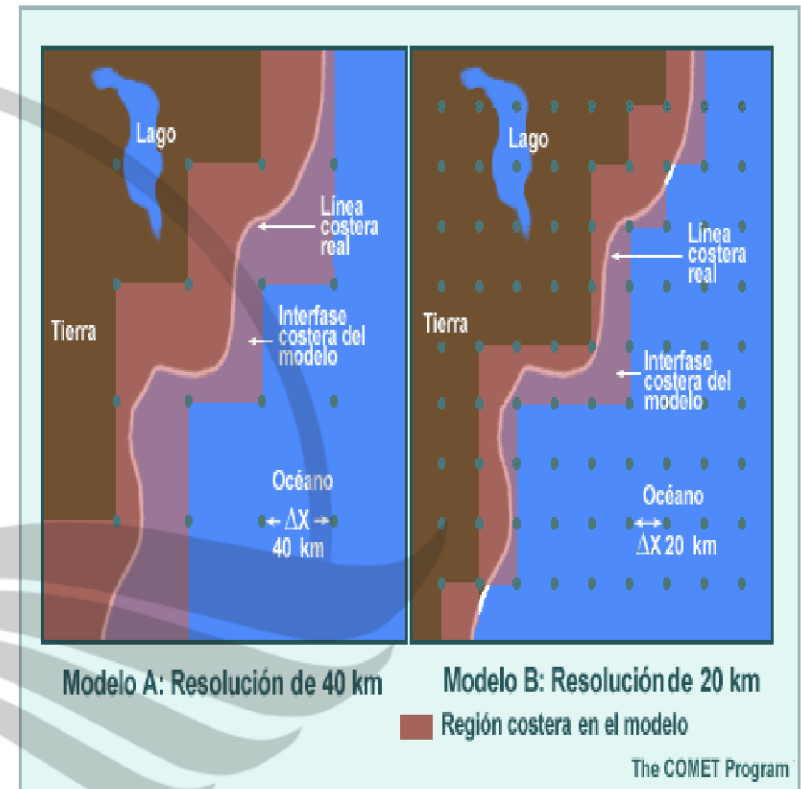
ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY

- **Predicción Numérica**

En el ejemplo, la línea costera en los modelos A y B se encuentra dentro de las regiones sombreadas en morado. En el modelo A, la mayor parte de las áreas de contacto entre agua y tierra queda dentro de una banda de 40 km, las irregularidades de la línea costera real no quedan bien representadas y el lago no se reconoce en absoluto.

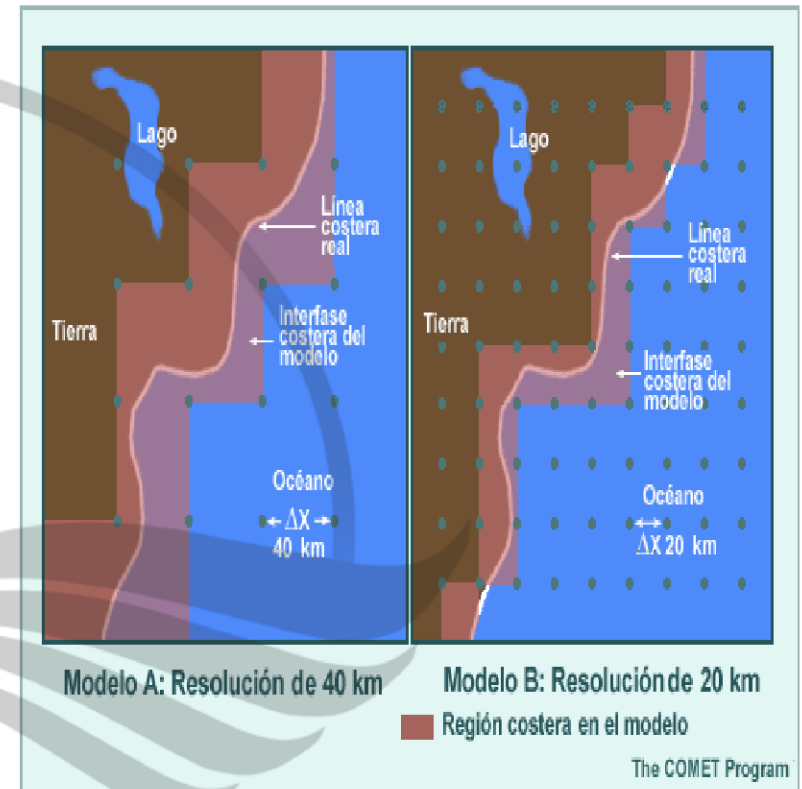
En el modelo B, en la mayoría de los lugares el área de contacto entre agua y tierra se encuentra dentro de una banda de 20 km, las irregularidades de la línea costera real están mejor representadas y hay tres puntos de malla que identifican el lago.



• Predicción Numérica

El ejemplo muestra por qué los modelos con una resolución insuficiente no se desempeñan a la hora de definir estructuras y procesos tales como las brisas y los frentes de mar y de lagos, las bandas de nieve por efecto lago y los frentes costeros.

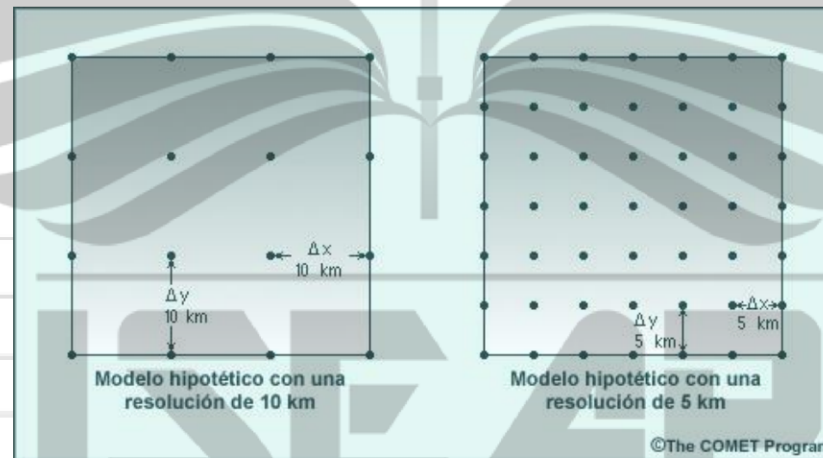
Al incrementar la resolución horizontal, es posible definir mejor la zona de contacto costera y las diferencias entre las propiedades superficiales de tierra firme y las masas de agua. A su vez, esto contribuye a que el modelo resuelva mejor las características y los procesos meteorológicos asociados con estas zonas de contacto.



NOTAS

• Predicción Numérica

Cuando se aumenta la resolución de un modelo, se incrementa la demanda en los recursos computacionales, porque el modelo debe determinar los valores para una mayor cantidad de puntos de malla. Como se ilustra a continuación, si reducimos la distancia entre los puntos de malla del modelo se reduce a la mitad (mayor resolución), el número de puntos de malla sobre la misma área se cuadruplica. Sin embargo, las consecuencias son aún mayores. El paso de tiempo que los esquemas de diferencias finitas necesitan también se reduce a medida que la resolución aumenta (a medida que Δx y Δy disminuyen), lo cual significa que el modelo debe encargarse de más pasos de pronóstico intermedios para producir un pronóstico de la misma duración.



NOTAS

- **Predicción Numérica**

Analizar el caso de la app windy
windy.com



NOTAS

ISEAP

AERONAUTICAL ACADEMY



¿Preguntas?

Juan Martín Del Oso

juanmartindeloso@gmail.com