

Desde los inicios de la civilización, el pronóstico de las condiciones atmosféricas era muy importantes para determinar las temporadas de migración de cacería, recolecta y cultivo.

Desde la formación de la Tierra se han presentado constantes variaciones en su clima, tanto en sus condiciones normales, como por anomalías y cambios. Periodos de intensa radiación solar y el fenómeno de El Niño son ejemplos de ello. Una de las variaciones más notables del clima son las glaciaciones. Las más importantes ocurrieron hace tres millones de años y terminaron hace diez mil; periodo en el que se presentaron cuatro grandes glaciaciones que cubrieron casi una tercera partes del planeta. Al final de cada glaciación existieron periodos interglaciares cálidos, donde el hielo glaciario se retraía hacia los polos para extenderse al siguiente periodo. La presencia de estos periodos propiciaron cambios notables en la biodiversidad y en las estrategias de adaptación y supervivencia de los organismos.

Es importante aclarar que los cambios climáticos a través de las eras geológicas han ocurrido lentamente; es decir, han transcurrido miles de años para ganar o perder un grado de temperatura. Por ejemplo, los cambios a través de períodos interglaciares se han dado en intervalos de $0.002\text{ }^{\circ}\text{C/década}$. Sin embargo, desde 1990, los científicos han registrado un incremento de $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ y, si se toman en cuenta los modelos climáticos propuestos durante la década de 1980, se observa que el incremento de la temperatura ha sido de 0.1 hasta $0.5\text{ }^{\circ}\text{C/década}$ durante el siglo XX.

PRIMEROS PRONÓSTICOS

Desde los inicios de la civilización, el pronóstico de las condiciones atmosféricas era muy importantes para determinar las temporadas de migración de cacería, recolecta y cultivo. Los primeros métodos de predicción consistían en prácticas empíricas a las que se incorporó el estudio de los periodos estacionales. Posteriormente, se elaboraron modelos numéricos que trataban de representar la relación entre los elementos climáticos. La complejidad de estos sistemas promovió la creación de máquinas capaces de desarrollar los modelos propuestos; por ejemplo, una de las funciones de la primera computadora multifuncional ENAC, del MIT, fue el desarrollo de modelos climáticos.

ELABORACIÓN DE MODELOS CLIMÁTICOS

Un modelo de simulación climática es un complejo desarrollo matemático que contempla las leyes de la termodinámica que rigen el movimiento atmosférico. Está compuesto por ecuaciones de diagnóstico y ecuaciones diferenciales de primero y segundo orden que representan los fenómenos físicos involucrados. Dadas estas funciones matemáticas es posible integrar en el espacio (a lo largo de todo el planeta y la atmósfera) y en el tiempo, permitiendo simular el comportamiento global del sistema en el futuro. Los resultados son más precisos mientras más consideraciones se contemplen sobre el medio que compone la superficie terrestre o la biosfera.

El modelo debe integrar el comportamiento atmósfera-océano-suelo y los intercambios de energía entre los subsistemas. Dicha integración se basa en las ecuaciones de la dinámica de fluidos y en las ecuaciones de Navier-Stokes, que describen la aceleración de un elemento de fluido sometido a acciones internas y externas. Adicionalmente, el

modelo debe incorporar la componente atmosférica, que incluye la evolución de parámetros, tales como viento, temperatura y humedad.

Para que el modelo se considere válido y representativo de los procesos naturales se prueba con información conocida de un período, verificándose si la información establecida se ajusta significativamente con los datos provenientes de la medición real. Es decir, dado que actualmente se cuenta con la información de monitoreos meteorológicos de hace un siglo, se corre el programa a partir del pasado y el resultado debe ser muy cercano a las condiciones climáticas actuales. Una vez ajustado, el modelo puede usarse para pronosticar el comportamiento futuro.

Constantemente se incorporan a los modelos climáticos nuevas consideraciones no previstas y por tanto, nuevas ecuaciones.

TIPOS DE MODELOS CLIMÁTICOS

Los modelos climáticos para predicciones del clima a corto plazo llamados Ur dividen la atmósfera en capas y cada capa en una cuadrícula, generando así un retículo de celdas en tres dimensiones. Posteriormente, se introducen en cada celda datos de temperatura y presión y ecuaciones que formulan como podrían variar estos datos según las condiciones generales y los datos de las celdas vecinas.

Los sucesores de los Ur son los actuales GCM (Global Circulation Models), los cuales, gracias a las supercomputadoras, son capaces de procesar cascadas de datos procedentes de una red satelital y estaciones meteorológicas. Estos modelos pueden simular la atmósfera terrestre con un gran nivel de detalle.

Existen otros modelos para predecir el comportamiento atmosférico en el futuro, tales como el modelo de pronóstico climático, desarrollado por el Departamento de Ambiente y Transporte del Reino Unido con el que se están haciendo simulaciones desde 1997. El objetivo consiste en establecer la importancia del cambio climático en el periodo 2040-2070.

FACTORES DE ERROR

La simulación numérica de procesos tan complejos e interrelacionados, como los modelos climáticos, presenta limitaciones y genera incertidumbre y factores de error. También existen mecanismos de feedback parcialmente comprendidos, que desencadenan respuestas en el sistema en sentido positivo o negativo, o combinando respuestas en ambos sentidos, y cuyo resultado final es difícil predecir. Otra posible fuente de error radica en el procedimiento matemático de resolución de ecuaciones diferenciales, ya que la modelación se basa en aproximaciones constantes. Por consiguiente, el error en cada cálculo se suma, lo que final generará una solución alejada del resultado real. Adicionalmente, no existe certeza acerca de las estimaciones de aumento de gases invernadero vertidos a la atmósfera por actividades antropogénicas.

Fuentes de información

" CIENCIA HOY. Escenario de Cambio Climático para la Argentina. Revista electrónica Ciencia Hoy, Argentina. <http://www.cienciahoy.org/hoy44/clima2.htm>

" ECHARRI, Luis. Libro electrónico - Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Escuela Superior de Ingenieros de San Sebastián, Universidad de Navarra. Navarra, España. <http://www.esi.unav.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>

" IOWA STATE UNIVERSITY. Modelos de pronóstico para el tiempo y el clima. Department of Geological & Atmospheric Sciences, Iowa State University of Science and Technology, EE.UU.A. http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/model/basic/images/pinball_es.html

" NICHOLLS, Henry. Are plants warming up the world?. Trends in Plant Science, 2003

Sitio Web (URL):

http://www.micromacro.tv/saber_mas_cambio_clima_38.htm