



# Academia del Mar

## CUADERNO TALÁSICO N°25

Presentado por:

**Académico de Número n° 31  
Capitán de Navío Carlos E. Ereño.**

Tema:

**Pronosticando la Variabilidad del Clima, su Valor Económico y Social.**

Presentación:

**Agosto de 2006**

**Expuesto y debatido en la Sesión Plenaria Ordinaria n°94 del 29 de agosto de 2006.**

# **PRONOSTICANDO LA VARIABILIDAD DEL CLIMA, SU VALOR ECONÓMICO Y SOCIAL.**

«El que mira el viento no siembra y el que mira las nubes no cosecha»  
Eclesiastés 11:4

## **1. Introducción histórica**

El desafío principal de las ciencias de la atmósfera en las décadas del 50 y 60 era el pronóstico del tiempo. La dinámica de la atmósfera, como aplicación particular de la hidrodinámica, era el centro de atención científica y la mayoría del esfuerzo estaba puesto en la predicción del tiempo, particularmente por métodos numéricos. La renovación tecnológica a partir de la década del 60 tuvo un gran impacto sobre la meteorología, modificando el eje principal de la investigación. El gran impulso vino de la mano del desarrollo de la computadora electrónica.

Existen evidencias de los intentos por parte del ser humano para crear herramientas que manipulen datos, desde el año 2600 a.C., cuando los chinos inventaron el ábaco. Incluso Leonardo Da Vinci desarrolló una máquina calculadora.

Los primeros esfuerzos por manipular números tenían dos cosas en común:

1. Eran mecánicos y
2. Se desarrollaban en pequeña escala.

Eran máquinas fabricadas de piezas lo suficientemente grandes para ser ensambladas a mano. La segunda guerra mundial dio nacimiento a lo que es considerada como la primera computadora (llamada ENIAC), la cual fue desarrollada para hacer cálculos de balística. Pero no fue sino hasta 1954 cuando Texas Instruments creó una manera de producir transistores en forma comercial, fecha a partir de la cual el desarrollo y avance de éstos equipos se ha dado en forma por demás impresionante.

La computadora electrónica permitió encarar uno de los grandes problemas de la meteorología, la simulación numérica del comportamiento de la atmósfera. De aquí surgen los modelos numéricos que mediante el uso de las ecuaciones de hidrodinámica permitieron superar algunos de los problemas originados en la no linealidad de estas ecuaciones y en la complejidad de los procesos físicos involucrados.

Una de las primeras aplicaciones de estos modelos estuvo orientada a mejorar el pronóstico del tiempo. El perfeccionamiento de estos modelos, junto a los progresos que se dieron en el campo de las computadoras, los sistemas de observación y en las telecomunicaciones permitieron la extensión de los períodos de validez de las predicciones meteorológicas satisfactoriamente hasta varios días y en ciertas circunstancias hasta más de una semana

Sin embargo, a pesar de las enormes inversiones que subsecuentemente se realizaron en este campo, el progreso ha sido más reducido y difícil. Ello se ha debido al límite teórico de la predictabilidad del sistema originado en la dinámica interna no lineal del mismo.

Los pronósticos del tiempo son bastante precisos en los primeros 1 o 2 días, para luego decrecer en confiabilidad a medida que el plazo del tiempo se incrementa a 3, 4, 5 o más días. Con 5 a 7 días de anticipación la precisión de los pronósticos es relativamente baja y más allá es casi imposible de predecir.

Sin embargo, el uso de modelos de área limitada con muy alta resolución espacial es una tecnología que está permitiendo un notable avance en la predicción del tiempo, sobretodo en la definición espacial de las tormentas.

## **2. El clima y su importancia**

Se suele definir el clima, en sentido estricto, como el “promedio del estado del tiempo” o, más rigurosamente, como una descripción estadística en términos de valores medios y de variabilidad de las cantidades de interés durante un período que puede abarcar desde algunos meses hasta miles o millones de años. El período clásico es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

¿Cómo afectan estos cambios a las sociedades humanas? Los cambios en el clima pueden afectar a la salud humana, los ecosistemas terrestres y acuáticos y también los sistemas socioeconómicos. Sectores básicos en el desarrollo de la humanidad, como la agricultura, silvicultura, pesca y recursos hídricos son especialmente sensibles al cambio climático. De aquí la importancia de conocer con anticipación estas variaciones.

De acuerdo a la Met Office del Reino Unido el tiempo afecta el comportamiento financiero del 75% de la industria, con las mayores pérdidas causadas por los fenómenos meteorológicos extremos.

Por ejemplo, para la velocidad del viento y durante la década 1990-1999, el daño causado por azote de huracanes en los Estados Unidos y por temporales severos de invierno en Europa alcanzó US\$ 5.500 millones y US\$ 3.000 millones por año respectivamente. Para la temperatura, la volatilidad relacionada a la meteorología de la energía eléctrica en Estados Unidos y Gran Bretaña es de US\$ 7.000 (no industrial solamente) y US\$ 1.500 millones por año respectivamente.

En un informe reciente elaborado en la NASA sobre el valor socioeconómico de mejorar la información del tiempo y el clima concluye: aunque el valor marginal de la información adicional en una esfera económica dada puede parecer relativamente pequeño, puede traducirse en efectos económicos potenciales muy grandes. Debido a la magnitud económica de los sectores afectados, el total de los efectos socioeconómicos de las variaciones del tiempo en el corto plazo, como los cambios del clima en el largo plazo son muy grandes. Estos efectos son especialmente notables cuando se los mide en una escala regional o local.

Los organismos de las Naciones Unidas que se ocupan de los problemas climáticos (FAO, OMM, PNUMA, UNESCO y su COI y el CIUC) han aprobado una Acción para el Clima básica, que refuerza considerablemente la reacción internacional frente a los riesgos planteados por la variabilidad del clima y el cambio climático. Entre las orientaciones principales para las actividades futuras establece como línea prioritaria la necesidad de mejorar los pronósticos estacionales (los más importantes para la adaptación de la agricultura a la variabilidad del clima).

La población argentina, como la de otros países del mundo, está marcadamente afectada por la variabilidad climática, tanto de corto como de largo plazo. En nuestro país, los efectos sociales de la variabilidad del clima son múltiples, pero los más elocuentes son las inundaciones que provocan las lluvias extremas. El país sufre estos efectos con bastante frecuencia en magnitudes importantes, tanto por su costo social como por el daño económico. Las inundaciones que regularmente o irregularmente azotan a las distintas regiones de nuestro país, traen como consecuencias muertes, evacuaciones obligadas y daños en las cosechas agrícolas con las consiguientes pérdidas económicas.

El fenómeno de El Niño durante el evento de los años 1982/83 produjo en el mundo 2.000 muertes y pérdidas económicas por 13.000.000.000 de dólares. Las inundaciones que produjo en la Argentina el Niño 1982/83 forzaron la evacuación de 250.000 personas que perdieron sus viviendas y más de medio millón se vieron afectados en mayor o menor medida. Se anegaron más de 7 millones de hectáreas en Chaco, Formosa, Santa Fe, Corrientes, Entre Ríos y Buenos Aires y sufrieron severos daños caminos, puentes, puertos, desagües y canales de drenaje.

Además del Niño, otros eventos extremos conducen a situaciones desfavorables para el normal desarrollo de la actividad humana. Las inundaciones que con frecuencia afectan a la ciudad de Buenos Aires arrojan considerables daños ocasionando pérdidas sociales y económicas no totalmente evaluadas.

Las inundaciones en Santa Fe por el desborde del río Salado en 2003, causaron daños por unos 2.878 millones de dólares. La cifra fue estimada por la Comisión Económica para América latina y el Caribe (CEPAL), que indicó que los daños fueron equivalentes a los provocados por el terremoto que sacudió El Salvador en 2001.

Hay pocos años en los que la Argentina no padece impactos climáticos y/o meteorológicos que impliquen pérdidas considerables en alguna región del país. Este panorama podría agravarse en la medida en que la densidad de población aumente y el uso del espacio sea más intenso.

### **3. ¿Es el clima predecible?**

El pronóstico meteorológico de largo plazo es notablemente dificultoso pero las predicciones confiables afectarán un variado número de industrias – y la economía en su conjunto – reduciendo incertidumbres en políticas, riesgo y productos relacionado con la meteorología. Aun pronósticos con modestos grados de exactitud pueden crear enormes ahorros financieros.

El objetivo más ambicioso de la Climatología es predecir el Clima con la antelación suficiente para adoptar las prevenciones necesarias. Estas últimas deben tener escalas temporales que van desde el corto plazo como preparar acciones para una evacuación como anticipación a eminentes inundaciones o en el más largo plazo, planificar la siembra de cultivos para

lograr ventajas de las tendencias observadas y pronosticadas en temperatura y lluvias.

Nos preguntamos ¿es posible hacer predicciones útiles en algunas regiones para los próximos tres meses y en algunos casos más allá?

Cabe tener en cuenta que, a escalas estacionales, no es posible tener la habilidad de pronosticar en qué día una localidad tendrá precipitación, tormentas, temperaturas extremas, pasajes frontales, etc. Esto es consistente con el rápido desmejoramiento de la calidad de los pronósticos luego de varios días, ya mencionado al hablar del límite de la predictibilidad del tiempo. Sin embargo, existe la posibilidad de pronosticar las anomalías de los promedios estacionales (anomalías del clima) con cierto grado de acierto. Se puede por ejemplo pronosticar si la precipitación total será mayor al promedio climatológico debido a que se espera una frecuencia mayor que lo normal de patrones de circulación atmosférica que conducen a precipitación en una localidad específica. El momento de la ocurrencia del evento de precipitación permanece incierto. El pronóstico de la probabilidad de incremento o disminución de las precipitaciones, o temperaturas superiores o inferiores a los valores normales, en el curso de una estación tienen un nivel de precisión que está lejos de ser perfecto, pero notablemente superior al nivel de probabilidad al azar. Este nivel de acierto para promedios o totales estacionales puede ser de utilidad para diversos sectores impactados por la variabilidad climática, tales como la producción de la energía, la agricultura, la salud y otros.

Mucha de la probabilidad en predecir apartamientos de los totales o promedios estacionales, está con frecuencia asociada a los patrones de circulación atmosférica, que tienen su origen en las lentas condiciones cambiantes de la superficie de la tierra que pueden influir el clima. La más importante de las condiciones de la superficie que afecta el clima es la temperatura de la superficie del mar (TSM) y particularmente la TSM en las zonas tropicales. Otras condiciones de la superficie, normalmente menos influyentes, son la humedad del suelo y la cobertura de nieve. La característica de las condiciones superficiales que le dan la capacidad de influir el promedio de las condiciones del tiempo en un período futuro extendido es la lentitud con la cual ellas pueden cambiar y por lo tanto el período extendido sobre el que pueden ejercer su influencia consistente. Cuando la TSM es superior a lo normal, permanece normalmente de esa manera por varios meses, y algunas veces por un año o más, tal como durante los episodios de El Niño o La Niña (o sea las fases cálida y fría del

ENOS – El Niño/Oscilación del Sur) de la TSM del Pacífico tropical. Similarmente, cuando hay una elevada humedad en el terreno, o cobertura de nieve, normalmente toma varias semanas para que esta situación retorne a lo normal, debido a que diariamente el solo puede evaporar o derretir una porción limitada del exceso. Cuando el suelo es muy seco, puede hacer necesarios 4 a 8 eventos de precipitación significativos para llevar la humedad del terreno nuevamente a su valor normal, dado que el agua de una intensa precipitación con frecuencia se escurre y no vuelve a completar la humedad del terreno más que superficialmente. Las anomalías de la TSM son particularmente lentas a los cambios debido a la alta capacidad calórica del agua relativa a la atmósfera, debido a su mayor densidad y porque las anomalías pueden extenderse a varias decenas de metros de profundidad. La lentitud en las variaciones de la TSM implica que los apartamientos de los valores normales (o sea las anomalías) de las TSM observadas actualmente pueden persistir por varios meses. También significa que las anomalías de la TSM pueden predecirse con cierta confiabilidad, de aquí que el clima que está asociado dinámicamente con las anomalías de la TSM puede también predecirse con cierta confiabilidad.

El fenómeno del ENOS – El Niño y La Niña – provee el ejemplo más obvio de anomalías de TSM que dan lugar a una tendencia para conocer las anomalías del clima. Durante El Niño (La Niña) la TSM en la región centro y occidental del Pacífico tropical se vuelve superior (inferior) a lo normal (unos cuantos grados C), y el clima en sectores del Pacífico tropical y grandes regiones de la zona extratropical tiene una bastante bien pronosticada respuesta de circulación, temperatura y precipitación. Esto se siente principalmente en los hemisferios al finalizar el invierno y comienzo de la primavera (por ejemplo, de diciembre a abril en el Hemisferio Norte, y de junio a octubre en el Hemisferio Sur). Durante los eventos ENOS aproximadamente un tercio de las áreas continentales del globo tienen efectos predecibles. Los eventos ENOS con frecuencia duran casi un año completo, comenzando entre abril y julio y extendiéndose hasta esta misma estación al año siguiente.

Por lo tanto, una vez que está claro el comienzo de un evento, puede contarse con su continuidad hasta por lo menos el otoño del hemisferio sur siguiente.

La capacidad de predecir estos episodios con anticipación a su comienzo es una meta continua de la investigación de modelación del clima actual, y se está progresando gradualmente. A partir de los 80 se ha logrado un

mejoramiento de las observaciones subsuperficiales de la temperatura del mar. Sin embargo, falta avanzar bastante para lograr niveles de predicción verdaderamente confiables.

Por otra parte, este modo de variación del Clima (el ENOS) no es el único y el conocimiento de su evolución no basta para una predicción medianamente confiable en la mayor parte de las latitudes subtropicales y medias. Por ello, hay dos ejes de intensa investigación complementaria y con fuerte interacción entre sí, una orientada al perfeccionamiento de los modelos de simulación climática y la otra conducente a la identificación y aislamiento de otros modos de variabilidad climática.

#### **4. Perspectivas**

Los dos grandes desafíos que en la actualidad involucran a las ciencias de la atmósfera, están vinculados con el Clima. El primero es el Calentamiento global de la troposfera terrestre, probablemente ya en curso, debido al aumento de las emisiones antropogénicas de los gases de efecto invernadero y el otro el pronóstico del clima en la escala intermensual e interanual, que nos está ocupando.

Mucho se ha hecho para mejorar la capacidad de evaluar las causas del cambio climático global e intentar predecir sus consecuencias para el futuro próximo. Los modelos climáticos, cada vez más sofisticados, reproducen con bastante confiabilidad las variaciones climáticas pasadas y se emplean para obtener escenarios futuros frente al cambio climático. Sin embargo, la realidad es que no es posible analizar el grado de acierto de estos modelos de predicción, al menos hasta de varias décadas. Sí en cambio es posible juzgar la confiabilidad de los modelos climáticos para realizar predicciones estacionales o interestacionales. Es por ello que en los últimos años se está realizando un tremendo esfuerzo para mejorar la predicción de la variabilidad climática regional.

Ya se ha comentado que el progreso de esta actividad tiene dos aspectos la mejora en los modelos y la de los sistemas de observación. Dentro de este último aspecto se pueden citar dos importantes proyectos satelitales: la misión Aquarius / SAC D, de NASA y CONAE de Argentina y la misión SMOS – Soil moisture and Ocean Salinity de la Agencia Espacial Europea. Mediante el uso de sistemas de sensores diferentes ambas misiones han sido específicamente diseñadas para obtener una cobertura global de datos de humedad del suelo y salinidad en la superficie del océano. No existe en la actualidad ningún sistema de observación de dichos parámetros, por lo que el aporte que realizarán estas misiones es verdaderamente relevante para los estudios del clima y su variabilidad. La misión de la Agencia Espacial



Europea tiene previsto su lanzamiento para el año 2007, mientras que la misión de la NASA está planeando realizar su lanzamiento el año 2009. El aumento de la capacidad y velocidad de procesamiento de las supercomputadoras ha promovido notables avances en los modelos climáticos, principalmente en cuanto a su resolución espacial. Detalles como el ojo de un huracán pueden hoy ser apreciados en estos sofisticados sistemas.

La estrella de las supercomputadoras dedicadas a aplicaciones científicas hasta dos años atrás era el Earth Simulation Center ESC en Yokohama, Japón. Uno de los aspectos principales para caracterizar la potencia de una supercomputadora es su velocidad, o capacidad de realizar operaciones por segundo. Los principales sistemas de los Estados Unidos y Europa alcanzaban rendimientos de 5 a 10 teraflops, equivalentes a diez elevado a doce operaciones por segundo – un billón para la lengua española, un trillón para la lengua inglesa. El ESC irrumpió con una capacidad inicial de 40 teraflops que luego se amplió a 70. Sin embargo, unos meses atrás IBM dio a luz a la más veloz supercomputadora del mundo la Blue Gene, que luego de superar sus capacidades iniciales alcanzó un record de 135.5 teraflops. Blue Gene es un proyecto cooperativo entre IBM, particularmente el Thomas J. Watson Research Center y el Lawrence Livermore National Laboratory, del Departamento de Energía de los Estados Unidos.

## **5. Conclusiones**

La expansión en forma sostenida de los sistemas de observación, junto con la ampliada capacidad de procesamiento que aportan los nuevos desarrollos tecnológicos permite encarar estudios imprescindibles para continuar avanzando en el conocimiento del comportamiento del sistema Tierra.

La predicción del clima, un ambicioso proyecto aun en etapa experimental, va avanzando lentamente y brindando información vital para la toma de decisiones para beneficio de la economía y la sociedad.

## **Desarrollo del debate**

**Ac. PRESIDENTE:** El Académico Ereño nos va a hablar hoy sobre la variabilidad del clima.

**AC. EREÑO:** Muchas gracias, como experto en meteorología he tratado de traer a la Academia algunos temas de gran interés dentro de esta disciplina; la última vez hablé sobre cambio climático global y hoy hablaré sobre la predicción del clima, algo que está ocurriendo a la par del cambio climático, tal vez con menor difusión, pero que importa un gran valor económico y social como potencial elemento de aplicación.

Haciendo un poco de historia en la década del 50-60 el principal problema de la meteorología era el pronóstico del tiempo. Antiguamente era realizado por métodos subjetivos; en la Armada teníamos el famoso Predictor Díaz que era un elemento que objetivizaba la experiencia de muchos años de gente que ha observado los sistemas meteorológicos en nuestro litoral. Pero es en dichas décadas cuando irrumpe la dinámica, el conocimiento del movimiento en la atmósfera y la expresión matemática que permite establecer el pronóstico del tiempo. Ello se hace porque paralelamente se desarrolla la computadora electrónica y es esta herramienta la que permite el cambio de ese procedimiento subjetivo a un elemento más físico-matemático.

La computadora no es un descubrimiento moderno, existen evidencias de intentos de realizar herramientas para manipular datos, desde el 2600 a.c. cuando los chinos inventaron el ábaco y Leonardo Da Vinci había desarrollado una máquina que permitía calcular. Eran procedimientos mecánicos para cálculos en escala pequeña, como la marea.

Lo que realmente cambia el concepto es con la computadora electrónica, el nacimiento se puede mencionar con el sistema ENIAC en la 2° Guerra Mundial con fines balísticos pero la aplicación mundial despegó en el 54 cuando la empresa norteamericana Texas Instrument desarrolla los transistores y los pone en actividad comercial. Es a partir de eso que se posibilitó la incorporación rápida de computadoras para diversas aplicaciones, entre ellas la meteorología.

Lo que se logró a través de este sistema es simular la atmósfera describiendo el comportamiento a través de ecuaciones físico-matemáticas y uno de los problemas serios para esta aplicación es que las ecuaciones de la atmósfera no son lineales o sea que la solución es compleja y no es posible de desarrollar sino con mucha información y procesamiento, lo que significa que el progreso del pronóstico del tiempo, de alguna manera va a la par del progreso en el campo de las computadoras y el progreso en los sistemas de comunicación y telecomunicaciones.

De esta forma se pasó de un pronóstico que era para 24 o 48 horas, luego a 2 ó 3 días, hasta alcanzar un límite de una semana y efectivamente existe un límite teórico que es alrededor de una semana. En los primeros días se

pueden hacer pronósticos bien precisos y cuando hablamos de 6 ó 7 días la previsión tiene un porcentaje de ocurrencia bajo y, más allá de ese plazo, es imposible cualquier intento serio de predecir el clima por problemas como la naturaleza no lineal del movimiento de la atmósfera. Se han usado modelos cada vez más amplios, con una mayor resolución y hoy se permite en estos modelos el pronóstico de tormentas que antiguamente era algo en lo que no se podía pensar.

Voy a encarar ahora el tema de la charla de hoy, que es el clima. A diferencia de lo que estábamos hablando, el clima es en realidad su promedio; en términos de valores medios y de la variabilidad de las condiciones del tiempo, es una condición estadística que se da para períodos tan largos como 30 años que es lo que recomienda la Organización Meteorológica Mundial. Una de las características es que no es fijo, tiene una variación que hoy preocupa a las sociedades humanas. Sin embargo, hay cambios en el clima de escala mundial como la estacional o entre estaciones o entre años que afectan notablemente a la salud humana, a los sistemas terrestres y acuáticos y en general a los sistemas socio-económicos. Podemos mencionar la agricultura, la pesca, los recursos hídricos como elementos sensibles al clima, de aquí que conocer lo que puede llegar a ocurrir con el clima es un verdadero desafío. De acuerdo a la oficina meteorológica del Reino Unido, el tiempo afecta el comportamiento financiero del 75% de la industria; por ejemplo, para el caso de la velocidad del viento, en un estudio realizado para la década 90-99 el daño causado por azotes de huracanes en Estados Unidos y por temporales severos de invierno en Europa, alcanzó una suma estimada en un promedio anual de 5.500 millones de dólares para los Estados Unidos y 3.000 millones, de la misma moneda, de pérdidas anuales en Europa. En el caso de la temperatura, ésta actúa directamente en la volatilidad relacionada con la generación de energía eléctrica, las pérdidas por efecto climático en Estados Unidos y Gran Bretaña ascienden a un valor de 7.000 millones de dólares anuales y 1.500 respectivamente y en estos cálculos no se incluyen efectos de consumos industriales de energía eléctrica.

Un reciente informe de la NASA dice que aunque el valor marginal de la información adicional a una esfera económica dada, puede parecer pequeño, el valor socio-económico del tiempo y del clima pueden traducirse en efectos económicos potenciales muy grandes; esto es notable cuando se lo mide en una escala regional o local. Por último quiero mencionar una acción que han propuesto una serie de organismos preocupados por problemas climáticos como la FAO, la Organización Meteorológica Mundial, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la UNESCO, la Comisión Oceanográfica Intergubernamental, etc.

quienes, en una acción para el clima, coinciden que entre las orientaciones principales para las actividades futuras, se establece como línea prioritaria la de mejorar pronósticos estacionales importantes para la detección de la agricultura y la variabilidad del clima.

La Argentina es muy vulnerable a la variabilidad del clima en el corto y en el largo plazo. En nuestro país hay múltiples efectos sociales, los más elocuentes son los vinculados a las inundaciones, el país sufre efectos con bastante frecuencia y en magnitudes de importancia y dentro de los efectos de las inundaciones, podemos mencionar muertes, grandes evacuaciones, daños a la propiedad, a las cosechas agrícolas, etc. Por ejemplo, el fenómeno llamado de El Niño, en el 82 y 83, que produjo en el mundo 2.000 muertes y pérdidas económicas por 13 mil millones de dólares; en la Argentina produjo grandes evacuaciones, pérdidas de vida, se anegaron 7 millones de hectáreas en las provincias del Chaco, Formosa, Santa Fe, Corrientes y Buenos Aires; se produjeron severos daños en los puentes, caminos, desagües, etc.

Existen otros fenómenos, además de el del El Niño que producen situaciones desfavorables para el normal desarrollo de la actividad humana, como las inundaciones en Santa Fe en el 2003 y las del Río Salado, con daños equivalentes al terremoto que sacudió al Ecuador en el 2001.

Hay pocos años en que la Argentina no padezca impactos climáticos y/o meteorológicos con pérdidas considerables en alguna región del país. Este panorama podría agravarse fundamentalmente por el crecimiento de la densidad de la población o los asentamientos en las zonas más vulnerables desde el punto de vista climático.

El punto es: ¿el clima es predecible? en realidad, el pronóstico por plazos extendidos es notablemente difícil, pero predicciones confiables aún con un grado no muy alto, pueden llegar a producir ahorros económicos y efectos sociales de mucha importancia. El objetivo más ambicioso de la climatología hoy, es predecir el clima con la anticipación suficiente. Estas previsiones están dentro del corto plazo como para permitir tomar acciones para una evacuación frente a inundaciones inminentes o en un largo plazo para planificar siembras de cultivo y pronósticos en las temperaturas o lluvias.

El punto es si se pueden hacer previsiones útiles dentro de plazos de 3 meses o más allá, 6 a 9 meses, es lo que se llama escala estacional; en realidad existe la posibilidad de pronosticar. Esto es lo que se conoce como anomalías de los pronósticos estacionales o como anomalías con cierto grado de acierto. Estas anomalías permiten evaluar si en la estación puede llegar a producirse ocurrencias de precipitación superior o inferior a los valores normales, extremos o de temperatura en cualquier sentido; este tipo

de precipitación tiene varias aplicaciones, fundamentalmente la producción de energía eléctrica, agricultura, salud, etc.

En realidad la posibilidad de predecir el clima en este nivel estacional depende de aquellos patrones de la circulación atmosférica que tienen que ver con el clima, tengan condiciones relativamente constantes o permanentes por un cierto plazo. Esto nos lleva a la caracterización de uno de los factores que afecta el clima, que es la temperatura de la superficie del mar como elemento que tiene más incidencia y otros con menor influencia, son la humedad del suelo y la cobertura de nieve. Cuando se produce una anomalía de la temperatura de la superficie del mar, la característica es permanecer en esa tendencia por varios meses, ya sea como tendencia cálida o fría; probablemente una de estas tendencias sea la aparición de un fenómeno en el Pacífico tropical como "El Niño" u oscilación del sur y "La Niña" como la anomalía fría. Algo similar ocurre con el terreno, cuando se producen elevadas humedades en el terreno ocupa varias semanas modificar esa situación y lo mismo ocurre cuando está el suelo muy seco y es necesario varias lluvias de intensidad para lograr romper con ese ciclo. Estas condiciones son elementos que permiten la facilidad de desarrollar una predicción por varios meses; la predicción que más se ha desarrollado es la del fenómeno de El Niño y de La Niña; lejos de ser un elemento que exclusivamente implique un conocimiento del clima en el Pacífico tropical, existe una interacción de las condiciones climáticas en esta región con variaciones en el clima en ambos hemisferios, al finalizar el invierno y al comienzo de la primavera en el hemisferio norte y sur se producen impactos en relación con "El Niño".

Se calcula que aproximadamente en las áreas continentales del globo está el fenómeno de "El Niño" u oscilación del sur. Este es un caso particular en la Argentina, sobre la región húmeda de La Pampa y amplias regiones de la zona cordillerana guardan una relación muy estrecha con este fenómeno y también se ha demostrado que anomalías en la temperatura del Océano Atlántico en el sector oriental, tienen una marcada influencia, de hecho, se están haciendo bastantes intentos por predecir el clima en la región húmeda, la que tiene más impacto en la producción agrícola.

No se puede aún decir que las predicciones del clima son verdaderamente confiables, hay regiones donde la confiabilidad de las predicciones son mucho mayores que en otras, en América del Sur, nordeste del Brasil, regiones de alta confiabilidad. Debajo de esa región hay otra con poca probabilidad de aciertos, en la región húmeda tenemos una zona que es potencialmente predecible.

Digamos que para hablar de la perspectiva que ofrece este campo, dentro de las ciencias de la atmósfera, los mayores desarrollos están vinculados al

clima; los dos elementos que más interés ocupan, son el calentamiento global y el pronóstico del clima en la escala intermensual y anual; mucho se ha hecho para mejorar la capacidad de pronosticar el clima; el pronóstico de la escala de cambio climático se ha realizado con modelos cada vez más sofisticados que reproducen con bastante confiabilidad las variaciones del clima ocurridas en plazos anteriores al presente; eso lleva a permitir utilizar esos modelos para pronosticar el futuro, sin embargo cuando esos modelos se aplican al pronóstico estacional, aparecen fallas sobre todo en regiones que no siempre es posible pronosticar. Se ha hecho una especie de invitación a la comunidad científica internacional para tener un enfoque más centrado en el pronóstico estacional, que no en el pronóstico de cambio climático, con el fin de tratar de dilucidar si el clima estacional es predecible y si hay regiones donde no se podrá nunca encarar la previsión del clima. Este progreso de la previsión va de la mano de dos aspectos: la mejora de los modelos y la mejora de los sistemas de observación y, dentro de esto, la observación mediante satélites ha sido una de los grandes adelantos que ha tenido la meteorología y la climatología pero para poder encarar este tipo de previsión hay dos misiones importantes una de ellas es la Misión Aquarius patrocinada por la NASA y en la que interviene la CONAE argentina y la otra es la SMOS; las dos misiones prácticamente tienen objetivos similares, utilizar por primera vez sensores en un satélite que tengan capacidad de brindar una cobertura global de la humedad del suelo y de la salinidad de la capa superficial del océano. Hoy la medición del suelo sólo es observable por muy pocas estaciones que proveen esa información; no existe casi información de humedad del suelo, salvo algunos intentos, pero no de este tipo, no hay cobertura global, y tampoco hay cobertura global de salinidad. La salinidad de la superficie del océano solamente se mide con boyas o con observaciones de buques de oportunidad; la salinidad está influida por la relación de evaporación-precipitación. La misión del satélite europeo tiene previsto lanzarse a partir del año próximo, la misión de la NASA en el 2009, ambas misiones van a producir un impulso con datos fundamentales a partir de algunos años.

El otro tema es la capacidad de correr modelos numéricos, o sea la capacidad de las super-computadoras, hay un continuo avance en este campo; dos años atrás recibíamos la información sobre un centro que se llama EARTH SIMULATION CENTER, de Japón, que ha desarrollado un sistema de la atmósfera con una capacidad que ha superado totalmente la capacidad de las super-computadoras dedicadas a estudios públicos en el mundo. Estados Unidos y Europa tienen super-computadoras con velocidades de procesamiento de 5 a 10 teraflop, que es 10 elevado a los 12 bits por segundo, computadora que tiene la capacidad de realizar un billón

de operaciones por segundo y un trillón de operaciones por segundo para la lengua inglesa. La ESC irrumpió con 40 teraflop y al poco tiempo lo amplió a 70; este año IBM dio a luz a la más veloz super-computadora del mundo, la Plugim, que, luego de superar sus capacidades iniciales alcanzó un record de 135, 5 teraflop que está aplicada a diversas operatorias públicas, como la predicción del clima.

Voy a concluir: la expansión en forma sostenida de la observación junto con la ampliada capacidad de procesamiento de los nuevos desarrollos tecnológicos permite encarar estudios imprescindibles para continuar avanzando en el comportamiento del Sistema Tierra, la predicción del clima, un ambicioso proyecto aún en etapa experimental, va avanzando lentamente para la toma de decisiones en beneficio de la economía y la sociedad.

**AC. CASTRO:** Yo escuché una charla sobre el agujero de ozono que tiene bastante influencia en el clima.

**AC. EREÑO:** El ozono es un gas invernadero que tiene una influencia y su incremento contribuye al calentamiento global; las actividades humanas están aumentando las concentraciones de ozono en la baja atmósfera, pero están aumentando las concentraciones de ozono en la alta atmósfera, hablo de 20 a 30 Km. de altura pero el Protocolo de Montreal estableció con claridad cuáles son los elementos precursores, esencialmente clorofluocarbonos y aerosoles, y afortunadamente, como hay dos o tres empresas en el mundo que son los fabricantes, se ha podido ir reconvirtiendo eso y si bien la vida de los precursores de destrucción del ozono es muy alta, o sea que por varios años tenemos agujero de ozono, en estos momentos la expectativa es que vaya progresivamente retomando los niveles.

**AC. DE LAS CARRERAS:** ¿El objetivo final no sería ir moldeando la fuerza de la naturaleza que modifique lo que se puede venir? por ejemplo, en Mendoza, los viñateros tienen un sistema cuando le dicen que va a haber una helada importante y puede prevenir; yo puedo prevenir algo y lo puedo modificar como los grandes tornados americanos: ¿no se puede estudiar deshacer los malos efectos con alguna explosión o sistema?

**AC. EREÑO:** Son dos aspectos distintos, uno el esfuerzo para predecir, el otro para desalentar la ocurrencia de un fenómeno natural; en general y salvo muy pequeñas experiencias que no creo que sean de generalizar, los intentos que se han hecho para tratar de modificar las condiciones del

tiempo no han dado muchos resultados; son fenómenos donde las energías en juego son muy altas y no se ve con claridad la posibilidad de atacarlas. Lo mismo ocurre en el Valle del Río Negro, en donde se venden cohetes contra el granizo, pero la efectividad es mínima.

**AC. CASTELLO:** En el día de ayer leí que las compañías de seguros norteamericanas tuvieron que pagar compensaciones por 50.000 millones de dólares por los huracanes, entre ellos el “Katrina”, y están tomando un papel muy activo en el estudio de estos temas, preocupados por el enorme monto que están desembolsando en especial por las viviendas destruidas. Consideran que la participación de las compañías de seguros va a ser un elemento positivo en relación y lo parangonan con el influjo que tuvieron cuando intervinieron para prevenir los accidentes automotores a raíz de las compensaciones que tuvieron que pagar y a tal punto es la preocupación, que van a empezar a participar activamente en las grandes convenciones internacionales por el cambio climático.

**AC. EREÑO:** Hay de mi conocimiento una reciente asociación entre la oficina meteorológica de Inglaterra con una empresa multinacional de seguros que está trabajando sobre el tema huracanes y su previsión estacional. Tratan de predecir cómo va a venir una temporada de huracanes; esto es muy reciente, ya se están viendo asociaciones de empresas aseguradoras con organismos que se ocupan de los aspectos de los servicios, para tratar de buscar una solución que entre en la ecuación del seguro.

**AC. DOMINGUEZ:** En cuanto al mejoramiento de los modelos de cambio climático, me interesa la salinidad del agua del mar y el hecho que interviene el satélite “Aquarius” con sensores que están graduados para captar bajas emisiones de microonda de banda “L” que están graduados teniendo en cuenta la temperatura del agua del mar y la salinidad en piletas especiales que permiten medir para una dada combinación de salinidad y temperatura la emisión de banda L que se produce. Esto permitiría a los satélites determinar la distribución de salinidad, superficie del agua del mar e introducir una nueva variable en el modelo climático. En esta línea se diseña el satélite argentino SAC-D (Satélite de Aplicaciones Científicas – D).

**AC. EREÑO:** Hoy si uno pone en Internet SST aparece en seguida la medida de la temperatura de los océanos en el globo, con todas las temperaturas, hay una cobertura total de la temperatura, pero no existe sobre la salinidad ni de la humedad del terreno que va a existir gracias a estos dos satélites.



**AC. MOLINA PICO:** Cuando hablaba de los modelos analizaban series de años anteriores; ¿existen valores a largo plazo válidos para utilizarlos como modelos?

**AC. EREÑO:** Más allá del siglo XIX, lo que hay es muy poco, esto es muy global, la sofisticación del modelo pasa por aumentar procesos que tienen que ver con el clima, como este modelo japonés, lo que hizo es introducir el crecimiento de los vegetales de toda la cobertura vegetal de la tierra como un elemento que interviene en el balance químico de la atmósfera.

**AC. CIANCAGLINI:** El mejoramiento de los datos que toman los satélites ¿han hecho innecesario el sondeo que se hacía?

**AC. EREÑO:** Si uno observa lo que está ocurriendo en varios países, cada vez se observa menos si se efectúa el sondeo de la atmósfera y mucha gente se pregunta si son necesarios teniendo en cuenta los satélites. Hay un grupo internacional que se ocupa de eso y han llegado a la conclusión de que no, que existe un mínimo que es necesario mantener, incluso Estados Unidos ha hecho un programa de ayuda a algunos países latinoamericanos para que realicen observaciones porque son vitales para poder, mediante una cobertura global, ajustar las determinaciones.

**AC. CIANCAGLINI:** Yo tenía entendido que uno de los inconvenientes que tenemos nosotros es que no hacemos sondeos suficientes hacia el Atlántico para la climatología nuestra, es decir no tiramos suficientes globos.

**AC. EREÑO:** No pasa por los sondeos sino de tener en el continente adecuadas estrategias, en el sur, mitad de la Patagonia, en el norte, para tener la posibilidad de controlar bien los sondeos que se derivan del satélite cuando pasan por tierra y de ahí se extrapolan, pasa arriba del océano.

**AC. AGIS:** ¿Qué temperatura tiene en promedio en verano e invierno el Mar Argentino a la latitud de Bahía Blanca?

**AC. EREÑO:** No lo conozco.

**AC. VILA:** ¿Es verdad que se dice que la energía involucrada en estos fenómenos, como los huracanes, es equivalente a 5 bombas atómicas?

**AC. EREÑO:** Es probable, y esa energía la provee el océano, es la evaporación la que provee esa energía, de ahí la necesidad de conocer la salinidad.

**AC. DOMINGUEZ:** Ud. hace el enfoque desde el punto de vista económico y social, pero hay un tercer enfoque relacionado con la vida y la bio-diversidad. Todos estos cambios de temperatura, estas radiaciones de frecuencia ultravioleta incrementadas por el debilitamiento de la capa de ozono, etc. están llevando a una disminución en la bio-diversidad terrestre que es de cuatro veces por año, como normal, a 120 veces más. Se está perdiendo bio-diversidad como un efecto secundario de todo esto; ¿hay una preocupación de los biólogos en relación con todo esto?

**AC. EREÑO:** Hay muchos seres vivos condicionados por la pesca, por el medio ambiente en que viven; si las condiciones ambientales varían en una velocidad superior a su posibilidad de adaptarse, mueren. De la misma manera que existe una Convención marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, existe una Convención de Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica y un Programa "Diversitas", que es un programa mundial que se ocupa del problema de la diversidad biológica. La Convención marco de cambio climático ataca al problema fundamental que es la emisión y tomar medidas para evitarlo.

**AC. DOMINGUEZ:** La vida vive de la vida, el hombre vive de la bio-diversidad y si ésta se pierde, el hombre también se pierde.

**AC. PRESIDENTE:** Vuelvo a felicitar a los nuevos académicos y al expositor de hoy. Buenas tardes.

Sin otro particular se levanta la reunión.