

Mapas y Modelos de Predicción en Meteorología Aplicado a Radiación Ultra Violeta (Problema del Agujero de Ozono)

Pedro Alberti Villalobos¹

Pedro.alberti@umag.cl
Universidad de Magallanes
www.umag.cl
Av. Bulnes 01855
Punta Arenas Chile

Resumen. Las predicciones meteorológicas están basadas en los MODELOS NUMÉRICOS, cuyo procedimiento consiste en pronosticar mediante cálculos matemáticos las situaciones atmosféricas para los próximos días a partir de las observaciones del estado actual del tiempo o estado inicial; estas situaciones atmosféricas de tratamiento informático se conocen con el nombre de "modelos numéricos del tiempo".

Como se construye un modelo

Para construir una maqueta ideal de la atmósfera comenzamos por cubrir la superficie de La Tierra con una cuadrícula o retícula y los vértices de la retícula distan entre sí unos 50 km., y en cada uno de ellos, esto es, en los vértices de cada cuadro, escribiremos los datos de presión, temperatura y humedad, que realmente hay en ese punto, para cuyo menester se hacen observaciones, en todo el Globo. Por encima de esta primera retícula, a una cierta distancia, pongamos 600 ó 1000 metros, vamos a colocar otra retícula similar, en el cual escribiremos de nuevo los datos que caracterizan la nueva capa de aire, y así, iremos incluyendo retícula tras retícula, tantas como necesitemos. En definitiva, lo que obtenemos es una retícula tridimensional sobre toda la superficie terrestre o lo que es lo mismo, una malla de cubos, en cada uno de cuyos vértices colocaríamos los datos citados de presión, temperatura y humedad. Es fundamental que esta imagen sencilla en tres dimensiones quede perfectamente clara, ya que la atmósfera nos puede representar la estructura y los detalles de las diversas capas de aire.

Los datos que se inscriben en cada vértice de la retícula, valores que se obtienen de las observaciones en la atmósfera real, **en un momento determinado**, el mismo para todo el Globo, y se corresponde con una hora local distinta en cada punto de la superficie terrestre. El procedimiento consiste en que un momento determinado lanzan

desde distintos lugares sondas o globos, que suben a velocidad constante y que arrastran tras si unos pequeños aparatos llamados radiosondas, que disponen de unos sensores que miden los parámetros antes citados de presión, temperatura, humedad y que durante su ascenso los transmiten al observatorio de tierra mediante una determinada frecuencia de radio, de ahí su nombre. Por el seguimiento desde tierra sabemos también la posición en cada instante, con lo que podemos deducir otros valores, tales como el viento a diferentes alturas. Además de estos datos se obtienen otros provenientes de, observatorios en tierra, boyas oceanográficas, satélites, buques, aviones, etc. Con todos ellos se confecciona esta maqueta ideal que llamamos MODELO.

En este modelo se distinguen claramente dos partes:

- Una, que responde a los datos reales y que sirve de punto de partida, a la que llamaremos "modelos de análisis".
- Otra, derivada de los datos reales y que constituyen los "modelos de datos previstos".

Los datos se hacen evolucionar de acuerdo con las leyes físicas, en especial de la dinámica y termodinámica, en forma de ecuaciones matemáticas que tienen en cuenta los cambios de las magnitudes antes expresadas. La resolución de estas ecuaciones en derivadas parciales dan por resultado el poder predecir el estado futuro de la atmósfera; es decir, a partir de un estado inicial podemos obtener un estado final, pero este estado final al que nos estamos refiriendo, es un estado final matemático, que va a servir a su vez de estado inicial del paso siguiente; cada cierta cantidad de minutos, horas se inicia un nuevo paso, a este avance se le llama "paso de tiempo". En cada uno de estos pasos aparecen las pequeñas variaciones de los parámetros citados, variaciones que vienen estructuradas por las ecuaciones de la física. Pero este cambio en las variables meteorológicas no es trivial.

En el procedimiento de predecir un estado final a partir de uno inicial va inevitablemente implícito un notable deterioro con el paso del tiempo, ya que las pequeñísimas e inevitables variaciones pueden amplificarse de una manera extraordinaria, (Estas ideas fueron someramente estudiadas ya hacia 1890 por Poincaré, Zermelo y otros. El más conocido de todos los estudios fue el llamado "Problema de los tres cuerpos"). El comportamiento del tiempo, a medida que nos alejamos de las condiciones iniciales o punto de partida, se van produciendo "ruidos" o errores de incertidumbre o perturbaciones, que hacen cada vez más diferente la evolución de la maqueta, con la evolución real que posteriormente va a tener lugar en la atmósfera, tanto, que estas diferencias pueden ser totalmente dispares, o lo que se conoce como caos; este fue precisamente el descubrimiento de Lorenz.

La primera vez que se usó el término "caos" en un artículo de Matemáticas, fue en 1975 con la aparición en *American Mathematical Monthly* de un artículo titulado "Periodic three implies chaos", cuyos autores son L.Li y J.Yorke. El artículo se refería al hecho de que si una función continua real, de variable real, tiene un punto periódico de período 3, entonces tiene puntos periódicos de todos los períodos.

Antes de la aparición del artículo anterior el término "caos" se usaba en el mundo de la Física, Meteorología, Ingeniería, etc., de manera poco precisa.

Las observaciones realizadas por el gran matemático francés Henri Poincaré en su libro *Ciencia y Melado*, publicado en 1908. Poincaré, permiten discutir sobre el prob-

lema de la impredecibilidad del movimiento de ciertos sistemas mecánicos concluyendo que el azar y el determinismo se pueden hacer compatibles.

La terminología de Poincaré de impredecibilidad del movimiento hoy en día se conoce como *sensibilidad a las condiciones iniciales*. En el estudio citado, una de las preocupaciones de Poincaré consistía en determinar las fuentes del azar evidentes en la investigación física. Una de las fuentes de azar que Poincaré determinó para sistemas mecánicos Hamiltonianos fue la inestabilidad de las órbitas de manera que, a pesar de tener un sistema determinista en juego, la evolución futura de unas condiciones iniciales dadas, era completamente impredecible. Lo que posteriormente a Poincaré se llamó comportamiento caótico o irregular de un sistema dinámico, es precisamente el que puntos muy próximos a las condiciones iniciales dadas, tienen comportamientos totalmente dispares en el futuro.

Un sistema es algo que tiene partes y que se concibe como una entidad simple y además, un sistema se identifica como la colección de todos sus estados concebibles. En concreto, un **sistema dinámico** es uno que cambia con el tiempo, teniendo en cuenta que lo que cambia con el tiempo es el estado del sistema. Tradicionalmente, los sistemas se han clasificado en dos grandes grupos:

- Sistemas lineales.
- Sistemas no lineales.

Un sistema dinámico es lineal cuando se conoce completamente su dinámica, de tal forma que el conocimiento del estado actual del mismo hace que se pueda conocer completamente el estado del sistema en cualquier instante posterior. Dicho sistema se puede formular mediante ecuaciones diferenciales ordinarias, o en derivadas parciales, ecuaciones en diferencias finitas, ecuaciones integrales, pero siempre lineales. Los sistemas dinámicos lineales desde un punto de vista físico se caracterizan porque la respuesta a una suma de efectos, es la suma de las respuestas a cada uno de ellos.

Los sistemas dinámicos no lineales son aquellos que no presentan este comportamiento, aunque conozcamos las ecuaciones no lineales que los modelizan, y el sistema no lineal, al igual que al sistema lineal, es determinista: es decir, existe una forma de determinar su comportamiento futuro dadas unas determinadas condiciones iniciales, sin embargo el sistema dinámico no lineal presenta sensibilidad a las condiciones iniciales, y por lo tanto su comportamiento futuro es impredecible.

En el mundo de la Física y de las Matemáticas las ideas de Poincaré fueron consideradas una "curiosidad", hasta que unos 70 años después, hacia 1963. Lorenz encontró un sistema de tres ecuaciones diferenciales no lineales bastante sencillo, provenientes de la meteorología cuyas trayectorias verificaban la condición de impredecibilidad futura.

En los últimos veinticinco años, debido sobre todo a las posibilidades de cálculo que ofrecen los computadores y a técnicas experimentales sofisticadas, así como a resultados teóricos nuevos, se ha encontrado que el fenómeno de impredecibilidad puesto de manifiesto por Poincaré no es una curiosidad de los sistemas dinámicos no lineales sino un fenómeno frecuente en la naturaleza y con consecuencias en muchas ramas del conocimiento científico.

En Física, el fenómeno de la impredecibilidad se ha bautizado con el nombre de **caos determinista**. Así, sistemas no lineales físicos que presentan caos determinista, puesto en evidencia desde una aproximación experimental son por ejemplo: fluidos en

régimen turbulento, láseres y dispositivos de óptica no lineal, uniones Josephson, osciladores forzados, plasmas sometidos a ondas no lineales interactivas, etc...

Es conveniente destacar un hecho notable, la no linealidad es una condición necesaria pero no suficiente para la presencia de caos determinista. También hay que destacar que la presencia de caos determinista en sistemas físicos de un solo grado de libertad, ciertos tipos de osciladores, pone de manifiesto que la impredecibilidad o fuente de azar en el sentido de los estudios de Poincaré no es una característica solo de los sistemas de muchos grados de libertad, por ejemplo, en Física, los sistemas termodinámicos.

Los físicos aceptan que en un litro de cualquier gas existe un número enormemente grande de moléculas (N° de Avogadro) que se mueven a gran velocidad en todas las direcciones y que colisionan en un "gran" desorden. Este desorden se puede cuantificar como "la suma de mucho azar" en un volumen pequeño. Pero ¿cuánto azar?. La contestación en Física a esta pregunta la da La Mecánica Estadística, creada sobre 1900 por Ludwig Boltzmann y J. Willard Gibbs: "la cantidad de azar presente en un volumen pequeño de gas viene dada por el cálculo de la entropía de ese volumen de gas".

Aunque no en los términos usados por La Mecánica Estadística, la noción de entropía fue introducida en 1850 por el físico alemán Clausius y ha tenido una evolución en los sistemas dinámicos. Por otra parte, usando las ideas de Boltzmann y Gibbs, el ingeniero americano Claude Shannon creó en 1948 lo que hoy en día se conoce como *Teoría de la información*, introduciendo una nueva noción de entropía, extensión de las anteriores. Más adelante el matemático soviético A.N. Kolmogorov introdujo en el contexto de los Sistemas Dinámicos, la noción de *entropía métrica* que se extendió en los años 70 a la de *entropía topológica* que hoy en día se utiliza para obtener una medida del grado de complejidad de los mismos.

Posteriormente a los años 70, apareció en la literatura científica el término de **atractor extraño**, la aproximación geométrica al concepto de caos que ha impulsado una nueva manera de abordar un problema clásico y muy importante de la Física y de las Matemáticas, como es el problema de la turbulencia en fluidos.

Atractores extraños

Si un sistema dinámico es caótico, el conjunto del estado de fases donde se presenta el fenómeno de dependencia sensible a las condiciones iniciales $\Lambda \subset X$ puede además ser un conjunto atractor para todas o la mayor parte de las trayectorias del sistema. Si este es el caso, Λ presenta una estructura geométrica y topológica muy complicada y como consecuencia una dinámica con alto grado de complejidad. Estos subconjuntos atractores del espacio de fases del sistema dinámico se denominan extraños debido a que presentan una apariencia geométrica "extraña". A grosso modo un subconjunto Λ del espacio de fases, cerrado e invariante es un conjunto atrayente si existe algún entorno del subconjunto de manera que para todo punto del entorno la trayectoria que pasa por él acaba en Λ y no lo abandona.

Un conjunto es un atractor si se cumple:

- (1) Es un conjunto atrayente.

(2) Es topológicamente transitivo.

Un conjunto es un atractor extraño si es un atractor y pertenece a un espacio de fases de un sistema dinámico caótico, es decir presenta sensibilidad a las condiciones iniciales. En la Figura 1 se presenta la evolución de la órbita de un punto perteneciente al atractor de Lorenz para una modelización simplificada del movimiento de convección atmosférico.

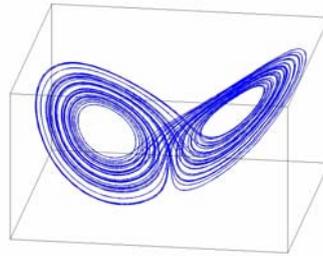


Figura 1.- Evolución de la órbita de un punto perteneciente al atractor de Lorenz.

Acercamiento observacional al caos determinista

Supongamos que F , perteneciente a un sistema físico susceptible de ser medido mediante algún tipo de registro, de manera que podamos seguir su evolución en el tiempo. Supongamos que el sistema físico sea lo suficientemente complejo tal que no tengamos un conocimiento de las ecuaciones teóricas que modelicen la dinámica del sistema. La cuestión en la que nos vamos a centrar es cómo las técnicas provenientes de la teoría de los sistemas dinámicos nos permiten analizar el proceso de medida expuesto.

A partir del registro del observable podemos construir la **serie temporal** asociada, que nos da la variación con el tiempo d registrada para dicho observable, $\{F_1, F_2, \dots, F_d\}$. El estudio de la serie temporal nos permite:

A) Construir a partir de la serie temporal el espacio de "**embedding**" asociado al sistema dinámico del cual hemos construido la serie temporal, que nos permita caracterizar el mismo. Esta idea introducida en 1980, N.H. Packard, J.P. Crutchfield, J.D. Farmer, and R.S. Shaw, "Geometry from a Time Series", Phys.Rev. Lett. 45, 712-15 (1980). y asentada su base teórica por F.Takens en Dynamical Systems and Turbulence, Vol.898, of Lecture Notes in Mathematics, D.A. Ran and L.S. Young, eds. (Springer Verlag, Berlín. 1981).

B) Cuantificar si el sistema dinámico es o no caótico mediante el cálculo a partir de la serie temporal de:

- Exponentes de Liapunov.
- Entropía de Kolmogorov.
- Dimensión fractal.
- Dimensión de correlación.

Estimación de la dimensión global del embedding: método de los falsos vecinos cercanos

Se puede considerar una serie témpora! como una secuencia de observaciones $\{S_i=S(x_i)\}_{i:1,\dots,N}$, realizadas con alguna función de medida $S(*)$. Puesto que la secuencia escalar de medidas, $\{S_i\}_{i:1,\dots,N}$, no representa propiamente la multidimensionalidad del espacio de fases del sistema dinámico asociado, se debe usar alguna técnica capaz de desplegar la estructura multidimensional, m -dimensional, plegada en los valores de la serie temporal.

La técnica más importante para la reconstrucción del espacio de fases es el método del retardo (delay). La técnica consiste en obtener vectores en un nuevo espacio, el espacio de **embedding**, a partir de los valores de las medidas de la magnitud escalar, retardados en el tiempo.

$$S_i=(S_{i-(m-1)\tau}, S_{i-(m-2)\tau}, \dots, S_i)_{i:1, \dots, N-(m-1)\tau} \quad (1)$$

El número de elementos m , que componen cada uno de estos vectores es la dimensión del **embedding**. El tiempo se denomina retardo (delay o lag). El teorema del **embedding** [1] [2] establece que partiendo de la secuencia de medidas adquirida, de hecho consiste en medidas escalares del estado de un sistema dinámico, y bajo ciertas hipótesis muy generales, el **embedding** construido a partir de las coordenadas de retardo proporciona una imagen uno a uno del conjunto original, siempre que m sea suficientemente grande.

La dimensión global del **embedding** (m) ofrece el número necesario de coordenadas para desplegar las órbitas observadas del sistema dinámico desde los autosolapamientos provenientes de la proyección del atractor en un espacio dimensional más bajo. La dimensión mas baja para la cual se despliega el atractor de tal manera que no quede ningún autosolapamiento, será la dimensión m óptima.

El teorema del **embedding** afirma que: Siendo D la dimensión del atractor definido por las órbitas del sistema dinámico, entonces se puede desplegar el atractor en una dimensión m tal que: $m > 2D$, m es una dimensión suficiente pero no necesaria, suficiente para saber donde parar en el proceso de añadir componentes a los vectores retardados en el tiempo.

Kennel et al. [3] propuso en 1992 un método para determinar la dimensión mínima suficiente del **embedding**, m (dimensión global del **embedding**), denominado **método de los falsos vecinos más cercanos (False Nearest Neighbor)**. La idea que propone este método es absolutamente intuitiva.

Supongamos que la mínima dimensión de **embedding** para una serie temporal dada, $\{x_j\}$, es m_0 . Esto significa que en un espacio de retraso m_0 -dimensional, el atractor reconstruido es una imagen uno a uno del atractor en el espacio de fase original. Especialmente, se preservan las características topológicas. Así los vecinos de un punto dado son transformados en otros vecinos en el espacio de coordenadas de retraso. Debido a la suavidad asumida de la dinámica, vecindades de los puntos son transformados sobre vecindades otra vez. Por supuesto la forma y el diámetro de las vecindades cambian según los exponentes de Lyapunov. Pero supongamos ahora que se realiza el embedding en un espacio m -dimensional con $m < m_0$. Debido a esta proyección la estructura topológica no es preservada. Los puntos se proyectan en las vecin-

dades de otros puntos a los cuales no pertenecerían en dimensiones más altas. A estos puntos se les llama falsos vecinos. Si ahora la dinámica se aplica, estos falsos vecinos no son típicamente transformados en la imagen de la vecindad, sino en alguna otra parte, de modo que el "diámetro" promedio llega a ser bastante grande.

Mostraremos como desarrollamos uno de los seudos códigos, el algoritmo que llamamos **Predicción iterada** en su forma secuencial, consiste en usar un conjunto de datos de entrada distinto para predecir cada valor de la serie. Así, la predicción obtenida forma parte de una nueva ventana para predecir el valor siguiente, desplazando de esta forma la ventana una unidad de tiempo en cada predicción. De esta manera se tiene una relación entre valores pasados como puntos de \mathcal{X}^m y valores futuros como puntos de \mathcal{Y} . Con este último tipo de predicción los errores se van acumulando en el vector de entrada que forma la ventana, sobre todo en los últimos periodos de tiempo del horizonte de predicción. Este método es computacionalmente más costoso, ya que para predecir n valores se construyen n modelos, para generar cada uno de los n valores futuros de la serie en estudio.

De esta manera se tratar de hallar:

$$\mathbf{f}_i : \mathcal{X}^m \rightarrow \mathcal{Y} \text{ con } i=1,2, \dots, n \quad (2)$$

Tal que

$$\begin{aligned} \hat{X}_{t+1} &= f_1([X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-(m-1)}]) \\ \hat{X}_{t+2} &= f_2([\hat{X}_{t+1}, X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-(m-2)}]) \\ \hat{X}_{t+3} &= f_3([\hat{X}_{t+2}, \hat{X}_{t+1}, X_t, \dots, X_{t-(m-3)}]) \\ &\vdots \end{aligned} \quad (3)$$

donde f_i son funciones no lineales que relacionan los valores futuros de la serie temporal con los valores pasados para cada hora del horizonte de predicción.

La longitud de la ventana es un parámetro que hay que determinar de manera óptima mediante el análisis de los valores pasados de la serie temporal, disponibles en la base de datos histórica, que más influyen en los valores futuros de la variable que se quiere predecir.

Para determinar de una manera óptima la longitud de la ventana m se usa el Método de los Falsos Vecinos más Cercanos (FNN, *False Nearest Neighbours*) [59], el cual consiste en calcular la longitud de la ventana que hace el número de falsos vecinos más cercanos mínimo.

Dos puntos x, y de \mathcal{X}^m , que representan valores de la serie temporal en el pasado, son vecinos falsos si la distancia entre los puntos $f(x)$ y $f(y)$, que representan las predicciones de sus correspondientes valores futuros (puntos de \mathcal{Y}^m o \mathcal{Y} según el tipo de predicción que se haga), es mayor que la distancia que hay entre los puntos x e y , como se muestra en la figura 2.

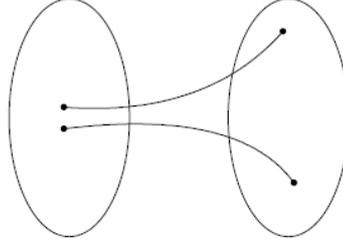


Figura. 2. Falsos vecinos

Este radio de crecimiento entre valores pasados y futuros según el tipo de predicción que se lleve a cabo se calcula como sigue.

Sean dos puntos de R^m :

$$\begin{aligned} X_{pas}^{t_1} &= [X_{t_1}, X_{t_1-1}, X_{t_1-2}, \dots, X_{t_1-(m-1)}] \\ X_{pas}^{t_2} &= [X_{t_2}, X_{t_2-1}, X_{t_2-2}, \dots, X_{t_2-(m-1)}] \end{aligned} \quad (4)$$

Predicción iterada:

Se tiene que:

$$\begin{aligned} \hat{X}_{t_1+1} &= f(X_{pas}^{t_1}) \\ \hat{X}_{t_2+1} &= f(X_{pas}^{t_2}) \end{aligned} \quad (5)$$

tal que

$$RADIO = \frac{|\hat{X}_{t_1+1} - \hat{X}_{t_2+1}|}{d_m(X_{pas}^{t_1}, X_{pas}^{t_2})} \quad (6)$$

Si $RADIO$ es mayor que un umbral dado, el punto $X_{pas}^{t_1}$ es un vecino falso de $X_{pas}^{t_2}$. Se trata entonces de elegir la longitud de la ventana suficientemente grande para que el número de vecinos cercanos considerados falsos sea suficientemente pequeño. De esta forma, para encontrar el tamaño adecuado de la ventana se calcula el porcentaje de falsos vecinos en un conjunto de entrenamiento para longitudes de la ventana que oscilen entre uno y un número máximo prefijado, $mmax$, eligiendo como longitud aquella que haga que este porcentaje se aproxime a cero. Como este parámetro se determina a partir de un conjunto de entrenamiento, donde se conocen los valores fu-

turos reales, las predicciones no son valores estimados sino valores reales de la base de datos histórica.

La optimización de este parámetro es importante ya que si la longitud de la ventana es demasiado pequeña, el número de falsos vecinos es elevado lo que dificulta obtener una buena aproximación de la predicción de la serie temporal.

Por otro lado, si este parámetro es demasiado grande, el coste computacional es elevado en relación a la mejora obtenida en la aproximación del error de la predicción.

La figura 3, muestra cómo disminuye el número de vecinos falsos cuando aumenta el número de valores pasados de la serie temporal usados para predecir los valores siguientes. Como se observa, un número determinado de valores pasados son suficientes para predecir los valores siguientes, ya que el número de vecinos falsos no disminuye de una manera considerable con el uso de más valores.

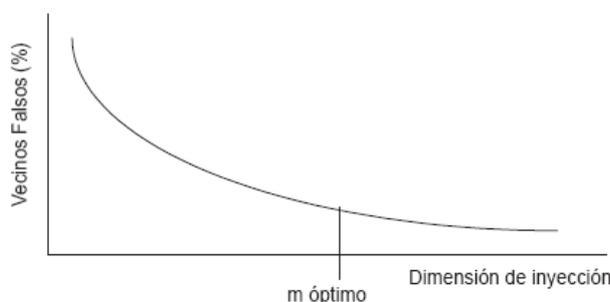


Figura. 3. Falsos vecinos versus longitud de la ventana

El Análisis de Series Temporales No lineales abarca múltiples disciplinas, desde el mundo de las finanzas, la psicología o la medicina [4], todas las áreas de carácter científico-técnico (Física, Matemáticas, Ingeniería, Informática). En este sentido. Estamos trabajando con series temporales provenientes de datos de teledetección y de medidas in situ; enmarcado dentro de los proyectos nacionales Fondecyt como internacionales en conjunto con España AECI.

Uno de los objetivos es, por ejemplo, la modelización de la dinámica de la temperatura estimada a nivel de sensor (temperatura de brillo), considerando la interacción del mar y la atmósfera globalmente, de forma que sirva como un estimador "a grandes rasgos" de la dinámica de la temperatura superficial, muy sensible al modelo de interacción radiación-atmósfera. Para tal fin, se intenta reconstruir un modelo dinámico, en el sentido de los teoremas del embedding, que permitan la predicción del comportamiento de este observable físico [5]. Poseemos data de 10 años de medición del laboratorio de Ozono de la Universidad de Magallanes en Chile, lo que explicaremos en detalle más adelante.

En concreto, estas series temporales se construyen a partir de imágenes de alta Resolución provenientes del satélite meteorológico NOAA-AVHRR, suministradas por el CREPAD (Centro de Recepción, Proceso, Archivo y Distribución de Imágenes de Observación de la Tierra) o accesibles desde el proyecto MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Si bien, se pueden adquirir imágenes de este u otros

satélites como Landsat, Meteosat o Nimbis mediante una antena y un receptor de bajo coste.

El satélite NOAA ofrece cinco bandas, de forma que cada banda viene definida por su localización espectral (ver figura 4). Así por ejemplo, las bandas 1 y 2 se corresponden con la parte visible del espectro, y a partir de ellas se calcula el albedo y la reflectividad de la cubierta y las bandas 4 y 5, se corresponden con la región térmica del espectro electromagnético, a partir de las cuales se puede estimar la temperatura superficial mediante las correspondientes funciones de calibrado.

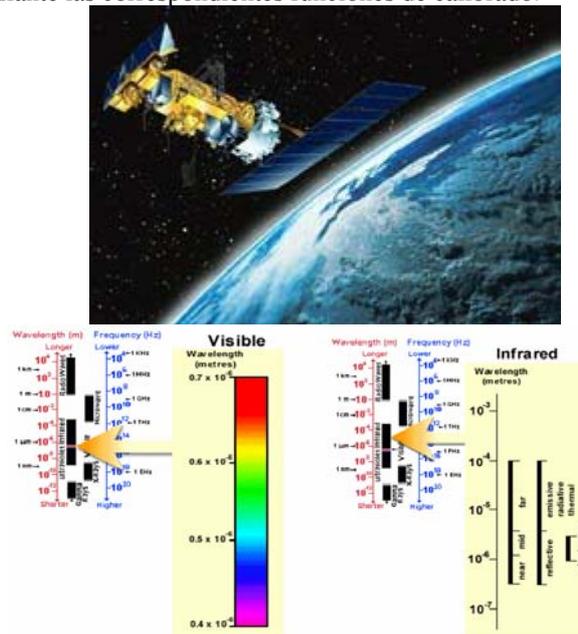


Figura. 4. Satélite NOAA, definición de las 5 bandas visible e infraroja

En consecuencia, se pueden generar multitud de series temporales en función del observable físico seleccionado (localización espectral), el área de cobertura (número de píxeles), la resolución de la imagen ("tamaño del píxel"), la frecuencia de muestreo de las imágenes y el período de tiempo de adquisición de las imágenes (desde días a años).

Este trabajo evidencia la necesidad de mayores recursos de computo, y consecuentemente se hace necesario disponer de versiones paralelas de los algoritmos fundamentales para el ASTNL que aprovechen adecuadamente dichos recursos. Actualmente, existen diversas implementaciones secuenciales del método de falsos vecinos cercanos (FVC). Sin embargo, la comunidad científica no dispone de versiones paralelas que les permitan obtener resultados en un plazo de tiempo considerablemente menor. Bajo estas premisas, el trabajo de investigación se aumentará para obtener como mínimo una versión paralela para el método FVC; dejando sentadas las bases para el estudio de la paralelización de los restantes algoritmos básicos para el ASTNL.

Entrada: Base de datos y parámetros num_dias_maximo y R_{max}
 Salida: Numero de vecinos falsos y radio de crecimiento

```

FalsosVecinosCercanos()
desde  $num\_dias = 1$  hasta  $num\_dias = num\_dias\_maximo$ 
   $longitud\_ventana = 24 * num\_dias$ 
   $num\_falsos\_vecinos = 0$ 
  Para todo  $dia \in$  Conjunto de Entrenamiento
    Cálculo del punto formado por los precios horarios de los  $num\_dias$ 
    días anteriores al día  $dia$ 
    Cálculo del vecino más cercano del punto anterior
    Cálculo del radio de crecimiento  $R_{dia}$  según (4.6)
    Si  $R_{dia} > R_{max}$ 
      //El vecino calculado es un vecino falso
       $num\_falsos\_vecinos = num\_falsos\_vecinos + 1$ 
    Inclusión de los precios del día  $dia$  en la base de datos
  Fin FalsosVecinosCercanos

```

Algoritmo 1. Pseudocódigo del algoritmo FNN para la serie temporal

Una vez realizado el estudio previo sobre el estado del arte donde se enmarcó el presente trabajo de investigación y se estudió las implementaciones disponibles del método FVC.

Nuevos objetivos

Proponemos estudiar la viabilidad de la paralelización del método FVC.

Ya contamos con dos versiones paralelas para el método FVC. Una aproximación orientada a memoria distribuida, y otra aproximación orientada a memoria compartida.

Queda por Analizar la posibilidad de otras aproximaciones futuras. Realizar una comparativa entre las dos aproximaciones paralelas y la mejor secuencial.

Agujero de ozono antártico

Introducción.- Descripción del Fenómeno.

En la década reciente, el estudio de la radiación UV-B (290nm-325nm) ha con-citado el interés de la comunidad científica y de los gobiernos, debido a su relación con los efectos dañinos que esta puede producir en nuestra biosfera. En forma especí-fica se han detectado problemas en la salud humana cuya relación esta visualizada en

el cáncer a la piel, los problemas oftalmológicos y el debilitamiento del sistema inmunológico que origina una baja en las defensas.

Los incrementos anormales de la radiación UV-B están asociados con la disminución de la concentración de la capa de ozono estratosférico, fenómeno conocido como el "ADELGAZAMIENTO EN LA CAPA DE OZONO ANTARTICO", lo cual fue dado a conocer al mundo en 1985.

El adelgazamiento de la capa de ozono tiene efectos sobre la flora regional incidiendo en el tamaño y la producción de alteraciones en la estructura de los ecosistemas acuáticos (algas y fitoplancton).

El deterioro de la capa de ozono es un fenómeno mundial, provocado principalmente por la acumulación progresiva en la estratosfera de los compuestos clorofluorcarbonados (CFCs), que son lanzados a la atmósfera por procesos industriales desde la década de los 40, y que debido a su gran estabilidad química y su larga vida pasan a la segunda capa de la atmósfera superior ubicada a 12 Km. (estratosfera) y es ahí que por efectos de la radiación UV-C, que deja libre cloro atómico el que destruye en forma muy eficiente al ozono que se encuentra en gran cantidad en esta región entre 15 y 25 Km. Lo anterior ha significado una disminución mundial promedio del orden de 0.36% al año. Los resultados de estudios relacionados con la climatología del ozono en Punta Arenas desde 1979 a la fecha muestran una tendencia sostenida de 0.82% de pérdida anual del ozono total sobre esta región, siendo esta, mucha mas intensa al inicio de la primavera austral, alcanzando valores promedios en el mes de Octubre de 1.3% (ambos valores aproximados).

El Agujero del Ozono Antártico "AOA".

En la Antártica el fenómeno se exagera debido a las peculiares características meteorológicas reinantes en ese continente, entre las que podemos citar un poderoso remolino polar que se manifiesta desde Mayo a fines del mes de Noviembre, con vientos de altura del orden de los 400 Km./h., lo que aísla completamente el aire de la estratosfera de La Antártica. La gran estabilidad y duración de este vórtice permite que la estratosfera antártica sufra un enfriamiento notable alcanzando temperaturas muy bajas (-90° C) alrededor de 20 Km. de altura, lo que permite la formación de nubes polares estratosféricas.

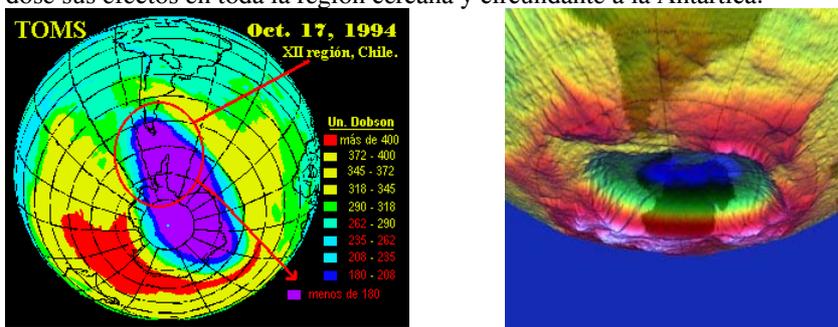
Estas nubes contienen cristales de hielo y ácido nítrico, los cuales favorecen reacciones químicas que en otras condiciones no se producirían y que liberan gran cantidad de cloro. Al llegar la primavera la acción de los rayos solares activa este cloro acumulado ocasionando un considerable adelgazamiento de esta capa protectora. Si la concentración vertical del ozono es inferior a los 220 UD, se considera como que se ha producido un agujero en la capa de ozono al que llamaremos en adelante AOA (Agujero de Ozono Antártico).

Situación en Magallanes.

Todos los años, entre los meses de Septiembre a Febrero, la Patagona Austral es afectada débil o fuertemente por el AOA, especialmente:

1. Cuando se desprenden masas de aire pobre en ozono desde el borde externo del vórtice o remolino polar (VEP), caso ocurrido recientemente en la región (nota 1).

2. Debido a la acción de ondas planetarias el VEP es desplazado y deformado adquiriendo generalmente un alargamiento en forma de huevo, de manera que en su giro (del Pacífico al Atlántico) el AOA queda encima de la región. Entonces decimos que el agujero esta sobre Magallanes registrándose concentraciones de ozono inferiores a 220 UD (nota 2). En condiciones normales el límite del vórtice o remolino no sobrepasa el paralelo 60 manteniéndose centrado en el Polo Sur.
3. Cuando se rompe el VEP a fines de Noviembre o comienzos de Diciembre, toda esa enorme masa pobre en ozono que se encontraba en el interior del VEP, junto con el cloro se liberan produciendo una disminución acentuada de ozono, sintiéndose sus efectos en toda la región cercana y circundante a la Antártica.



Nota 1: fechas del fenómeno 1, 2, 3, 4 y 5 de Octubre de 1999.

Nota 2: el valor registrado el 17 de octubre de 1994, alcanza el valor mínimo observado de 151 UD, con un promedio diario de 161,4 UD.

El fenómeno del AOA descrito en los párrafos anteriores aun no ha terminado de intensificarse por lo que se espera disminuciones mas drásticas que las que se han medido hasta ahora, afortunadamente hay indicios que la concentración de cloro estratosférico no seguirá aumentando iniciándose así el proceso de recuperación a los niveles que Magallanes tenia al comienzo de la década de los 60, pero en todo caso el habitante deberá acostumbrarse a convivir con este fenómeno por dos o tres décadas mas. Por este motivo, gracias al trabajo conjunto del Ministerio de Salud, CONAMA, FIDE XII y la Universidad de Magallanes, se ha implementado un sistema de información y de prevención de los riesgos que podrían ocasionarse por el aumento de la radiación UV-B.

Semáforo solar

Nivel de respuesta para estados de alerta (fotoprotección); valores del índice y categorías de exposición

Los Organismos Internacionales se han preocupado de establecer un índice de Radiación Ultravioleta, que cuantifica la intensidad de la Radiación, este índice se determina cerca al medio día, siguiendo un procedimiento internacionalmente establecido y toma los siguientes valores, en función de la intensidad del Sol.

INTERVALO DE VALORES DEL ÍNDICE UV	CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	LUZ DEL SEMÁFORO
Menor a 2	BAJA	
3 a 5	MODERADA	
6 a 7	ALTA	
8 a 10	MUY ALTA	
11 y mas	EXTREMADAMENTE ALTA	

Mediante la utilización de los cinco descriptores acordados por Convención Internacional se ha categorizado la exposición (BAJA, MODERADA, ALTA, MUY ALTA, EXTREMADAMENTE ALTA), estos descriptores se utilizan de acuerdo a la tabla señalada para explicar la intensidad de cada uno de los valores. Se establecieron las Categorías de Exposición para advertir a las personas cuyas características las hacen más sensibles a las quemaduras solares. El Índice UV por lo tanto es una herramienta que ayuda a la comunidad a estar informada del nivel de radiación esperado de acuerdo al Pronóstico de Ozono y Radiación Ultravioleta elaborado por la Universidad de Magallanes.

Bibliografía

- [1] J F. Takens, "Detecting Strange Attractors in Turbulence", Lecture Notes in Math, Vol. 898, Springer, New York (1981).
- [2] T. Sauer, J. Yorke and M. Casdagli, Embedology, J. Stat. Phys. 65, 579 (1991).
- [3] M.B. Kennel, R. Brown and H.D.I. Abarbanel, Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction, Phys. Rev. A 45, 3403 (1992).
- [4] M. Small, Three Examples: Finance, physiology and epidemiology, Actas del I Encuentro sobre Análisis No Lineal de Series Temporales. Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, 27-29 de Septiembre de 2005.
- [5] M. M. Artigao, I. Marín, J.J. Miralles and J. A. Martínez, Construcción de series temporales a partir de datos de teledetección. Un problema abierto. Actas del I encuentro sobre Análisis

- No Lineal de Series Temporales. Universidad de Castilla La Mancha, Albacete, 27-29 de Septiembre de 2005.
- [6] J. A. Martínez, E. López, J. J. Miralles and M. M. Artigao, interés por la predicción de “vientos” en el mercado eléctrico. Actas del I Encuentro sobre Análisis No Lineal de Series Temporales. Universidad de Castilla La Mancha. Albacete. 27-29 de Septiembre de 2005.
- [7] Liangyue Cao. "Practical method for determining the minimum embedding dimension of a scalar time series". *Physica D*, 110, p.p. 43-50 (1997).
- [8] R. Uegger, H. Kantz and T. Schreiber, Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISLAN package.
- [9] <http://lizika.pfmb.uni-mb.si/matjaz/ejp/time.html>
- [10] <http://www.zweb.com/apnonlin/>
- [11] J. T. Schreiber, Efficient neighbor searching in nonlinear time series analysis, *Int. J. Bifurcation and Chaos* 5, 349 (1995).
- [12] J. L. Bentley, K d Trees for Semidynamic Points Sets, Sixth Annual ACM Symposium on Computational Geometry, 91, San Francisco, (1990).
- [13] T. Asano, M. Edahiro, H. Imai, M. Iri and K. Murota, Practical Use of Bucketing techniques in Computational Geometry, *Computational Geometry*, G. T. Toussaint, ed. Elsevier (1985).
- [14] L. Devroye, Lecture Notes on Bucket Algorithms. Progress in Computer Science no. 6, Birkhauser, Bostón, (1986),
- [15] Michael J. Flynn. Computer architecture, pipelined and parallel processor design. Bostón, London, Singapore: Jones and Bartlett. 1995.
- [16] Hai Hwang and Faye A. Briggs. Computer Architecture and Parallel Processing. McGraw-Hill, New York. 1984.
- [17] Marc Snir, Steve otto, Steven Huss-Lederman, David Walker and Jack Dongarra. MPI : The' Complete Reference. The MIT Press. 1996.
- [18] E. Arias, Algoritmos de Altas Prestaciones para el Seguimiento de Trayectorias de un Brazo Robot. Trabajo de Investigación, Universidad Politécnica de Valencia.
- [19] J P, Grassberger, T. Schreiber and C. Schaffrath, Nonlinear time sequence analysis, *Int. J. Bifurcation and Chaos* 1, 521 (1991).
- [20] H. Kantz and T. Schreiber, "Nonlinear Time Series Analysis". Cambridge University Press, Cambridge (1997).
- [21] <http://www.umag.cl/ozono>.
- [22] Kirchoff, V.W.J.H.; Zamorano, F.; Casiccia, C. UV-B Enhancements at Punta Arenas, Chile, *J.Photochem. Photobiol. B.*, vol. 38: 174-177, 1997b.
- [23] Kondragunta, S., Flynn, L. E., Neuendorffer, A., Miller, A. J., Long, C., Nagatani, R., Zhou, S., Beck, T., Beach, E., McPeters, R., Stolarski, R., Bhartia, P. K., DeLand, M. T., Huang, L.-K Vertical Structure of the Anomalous 2002 Antarctic Ozone Hole, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 62(3):801-811, 2005
- [24] Malanca, F.E., P.O. Canziani, and G.A. Argüello, Trends evolution of ozone between 1980 and 2000 at midlatitudes over the Southern Hemisphere: Decadal differences in trends, *J. Geophys. Res.*, 110,D05102, doi:10.1029/2004JD004977, 2005.
- [25] Staehelin, J., N.R.P. Harris; C. Appenzeller; and J. Eberhard, Ozone trend: A review, Review of Geophysics, Vol. 39(2):231-290, 2001
- [26] World Meteorological Organization (WMO). Scientific assessment of ozone depletion: 1994. 1995. Report No. 37.
- [27] World Meteorological Organization (WMO). Scientific assessment of ozone depletion: 2002. 2003. Report No. 47.