UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

APLICACION DE METODOS DE INTERPOLACION BIVARIADOS Y TRAZO DE CONTORNOS SUAVES PARA EL PRONOSTICO DE PARAMETROS METEOROLOGICOS EN LA CUARTA REGION METEOROLOGICA MUNDIAL.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

A C T U A R I O

P R E S E N T A:

EDGAR PEREZ PEREZ

MEXICO, D. F. ENERO DE 1995

VNIVERSIDAD NACIONAL
AVFNºMA DE
MEXICO

M. EN C. VIRGINIA ABRIN BATULE
Jefe de la División de Estudios Profesionales
Facultad de Ciencias
P r e s e n t e

Los abajo firmantes, comunicamos a Usted, que habiendo revisado el trabajo de Tesis que realiz(ó)ron el pasante(s) EDGAR PEREZ PEREZ

con número de cuenta 8620746-1 con el Título:
APLICACION DE METODOS DE INTERPOLACION BIVARIADOS Y TRAZO DE CONTORNOS SUAVES PARA EL PRONOSTICO DE PARAMETROS METEOROLOGICOS EN LA CUARTA REGION METEOROLOGICA MUNDIAL.

Otorgamos nuestro Voto Aprobatorio y consideramos que a la brevedad deberá presentar su Examen Profesional para obtener el título de ACTUARIO

GRADO	NOMBRE(S)	APELLIDOS COMPLETOS	FIRMA
DR.	PABLO	BARRERA SANCHEZ	
Director de Tesis			
LIC.	FRANCO	TOLEDO DE LA CRUZ	
M. en C.	MA. ELENA	GARCIA ALVAREZ	
M. en C.	MARIANO	LOZANO MARTINEZ	
Suplente			
M. en C.	JOSE	GUERRERO GRAJEDA	
Suplente			

INDICE

		PAGINA
I.	MOTIVACIÓN	5
II.	INTRODUCCIÓN	10
III.	MÉTODO DE INVERSO DE LAS DISTANCIAS	14
IV.	MÉTODO KRIGING	35
V.	APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DESCRITOS	57
VI.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	74
VII.	DISCUSIÓN DE LA EFICIENCIA	77
VIII.	CONCLUSION	88
IX.	APENDICE (PROGRAMAS)	89
XI.	BIBLIOGRAFIA.	134

METODOS DE INTERPOLACION BIVARIADOS

MOTIVACION

Es en una gran diversidad de ramas de las ciencias naturales y sociales (meteorología, ecología, arqueología, geología, menerología, economía, demografía) en las que el probleme de conocer información "puntual" o "zonal", sin tener especificamente una fuente generadora de datos en el área de interés, toma gran relevencia. Los medios de que se dispone, generalmente, en este tipo de problemas están limitados a proporcioner datos alrededor, cerca o lejos, del punto de interés y naturalmente, lo que se pretende es utilizar la información disponible en este vecindad, tomando límites razonables para de alguna forma "adivinar", pronosticar o inferir la característica que nos interesa.

Los fenómenos meteorológicos, evidentemente, no pueden ser la excepción, todo lo contrario pues su estudio a un nivel generalmente de mesoescala se ajuste precisamente a las características antes descritas, es decir, estamos interesados, teóricamente, en conocer el estado de los parámetros meteorológicos (temperatura, presión, humedad, precipitación, etc.) En cualquier punto de, por ejemplo, la republica mexicana y sin embargo no contemos con los datos pertinentes en cada uno de esos sitios, no obstante, sí disponemos de información en algunos "*nodos*" de la región: la proporcionada por la red de observatorios del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (quizás posteriormente, una vez que los datos que emiten sean lo suficientemente confiables, pudiera incluirse también la red de estaciones automáticas) y es de esta forma que a partir del comportamiento conocido de las variables meteorológicas en las inmediaciones del lugar de estudio se pretende clarificar el comportamiento desconocido que ahí se tiene.

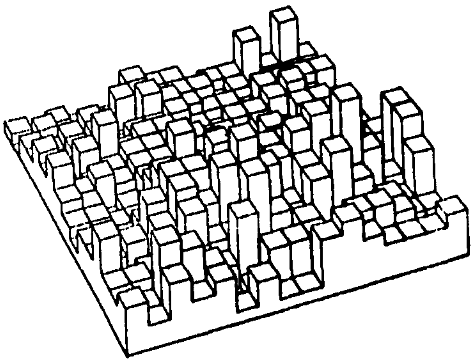
Este tipo de técnicas, matemáticamente, recibe el nombre de *interpolación*, y si bien su fundamentación teórica para funciones reales de variable real (interpolación con polinomios) es muy vieja, su generalización para funciones con dominio en R^2 e imágenes en R (*superficies*) y aplicación para inferir el comportamiento de fenómenos naturales, es relativamente nueva (aproximadamente en 1960 se comenzaron a publicar los primeros trabajos financiados por organizaciones militares).

Genéricamente, salvo algunas variaciones, este tipo de problemas han recibido el nombre de métodos de interpolación bivariados (multivariados) y ajuste de superficies suaves ($f : R^2 \rightarrow R$, tal que $f \in C^1$) para conjuntos de datos distribuidos irregularmente.

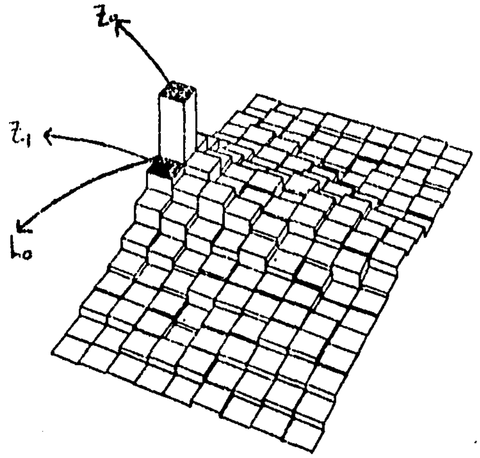
Tratando de justificar este nombre podemos decir lo siguiente:

Interpolación bivariada: sabemos, en términos básicos, que la interpolación consiste en *ajustarle* a un conjunto de datos una función que los caracterice o aproxime de la mejor manera posible de tal forma que pueda estimarse o predecirse, también, el valor de puntos "internos" o "externos" del conjunto original. Para la interpolación bivariada, la idea es exáctamente la misma, sólo que an este caso la función que ajusta será una superficie.

Ajuste de superficies suaves: porque en realidad eso es lo que estamos haciendo. Recordemos que una superficie es una función con dominio en **R²** e imágenes en **R** y que al atributo de suave se les confiere cuando son funciones de clase **C¹** , es decir, *además de continuas derivables y tal que la derivada siga siendo una función continua.* Esto es importante e indispensable, puesto que se pretende que el método de interpolación sea lo más exácto posible. Claramente una superficie discontinua o no suave (con muchos "picos") no es una buena herramienta de aproximación.



EJEMPLO DE SUPERFICE DISCONTINUA Y NO SUAVE
(MAL INTERPOLADOR)



LIMITACIONES DE LAS SUPERFICIES DISCONTINUAS Y NO SUAVES

En las figuras anteriores observamos que se carece tanto de continuidad como de suavidad y por lo tanto no son superficies que nos den aproximaciones exáctas en un problema de interpolación. Obsérvese, por ejemplo, (fig. B) que si la gráfica correspondiera a una superficie isotérmica (obtenida por algún método de estimación o aproximación) existiriá una enorme incongruencia entre las aproximaciones referentes al valor máximo y a las que se encuentran alrededor de éste.

Supongamos que la región rectangular (Ro) alrederor del punto maximo (Zo) tuviera un valor de 30°c, y la correspondiente (R1) a un punto circundante (Z1) un valor de 15°c; ¿Qué pasa si nos preguntamos por el valor que dicha superficie interpolante le asigna al segmento límite (Lo) entre Ro y R1 ?

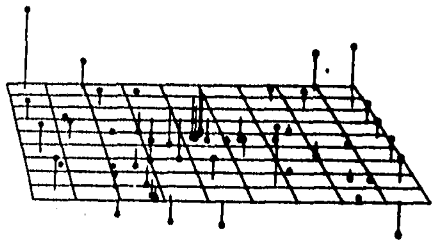
Resultaría, por un lado, que si nos aproximamos a Lo por la región Ro, obtendríamos 30°c, mientras que si lo hacemos por la región R1 encontraríamos un valor de 15°c, es decir, dos magnitudes totalmente diferentes para el mismo segmento. De ahí la necesidad de la continuidad y suavidad de la superficie.

Conjunto de datos distribuidos irregularmente: en realidad el caso de una distribución irregular de los datos es la generalización para cualquier tipo de ubicación que pudieran tener los "nodos" generadores de información (observatorios en nuestro caso).

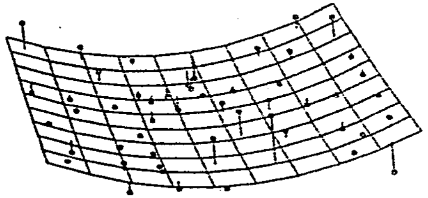
Teóricamente los datos conocidos (información emitida por los nodos) se encuentran distribuidos espacialmente con respecto al plano **XY** (o con respecto a la longitud y latitud es un sistema de coordenadas geográficas) con una altura o imagen en función de su localización en el plano base (en el caso de la temperatura, por ejemplo, dicha altura será igual al valor que se registre en el observatorio: 15°c, 20°c, 22°c, 24°c, etc.) Sin embargo, en términos prácticos no se trabaja tanto con las alturas o imágenes como con sus proyecciones sobre el plano **XY** o plano longitud-latitud.

Similarmente, no se trabaja tanto con la superficie interpolante como con las proyecciones de sus curvas de nivel en el plano base.

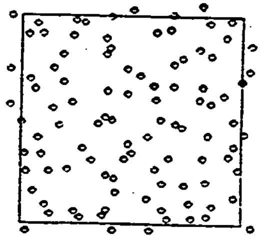
Así pues, diremos que una isolinea ,o linea que une puntos de igual valor, es la proyección sobre el plano base de las curvas de nivel de una superficie, es decir :
ISOLINEA $= \{(X,Y) \in R^2 : Z(X,Y) = CTE.\}$



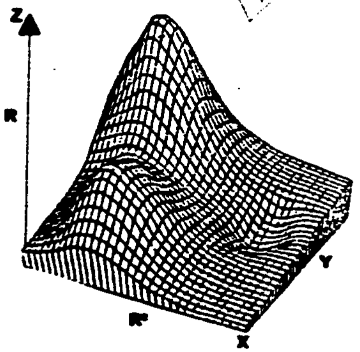
TEORICAMENTE LOS DATOS A INTERPOLAR SE ENCUENTRAN DISTRIBUIDOS ESPACIALMENTE CON RELACION A UN PLANO BASE. PRACTICAMENTE SE TRABAJA CON SUS PROYECCIONES SOBRE EL.



PROBLEMA ORIGINAL:DATOS A INTERPOLAR DISTRIBUIDOS IRREGULARMENTE EN EL ESPACIO

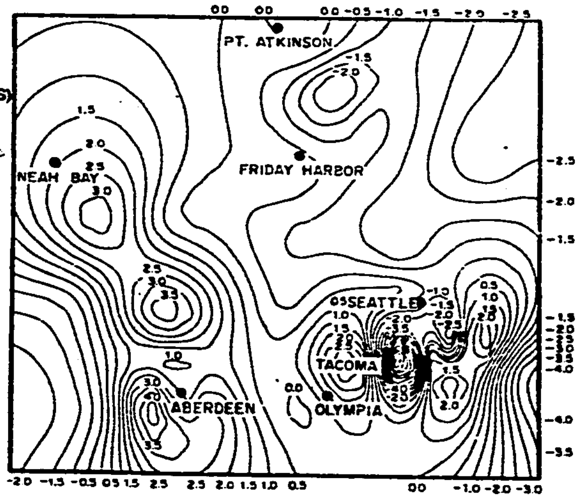


PROYECCION DE LOS VALORES SOBRE EL PLANO BASE



SUPERFICIE INTERPOLANTE ($f:R^2 \to R$) SUAVE GENERADA POR ALGUN METODO DE INTERPOLACION

CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE INTERPOLANTE PROYECTADAS EN EL PLANO BASE (ISOLINEAS) SOLUCION DEL PROBLEMA



INTRODUCCION

El problema de estimar, aproximar o inferir el comportamiento global de algún fenómeno mediante el conocimiento escueto de éste, es central en algunas ramas del quehacer humano (teórico y práctico). Tradicionalmente (en el caso de una sola variable dependiente y una explicatoria) se ha utilizado, por ejemplo, el análisis de regresión lineal, el no lineal y el ajuste con Splines; sin embargo, los problemas en la naturaleza o los que se crea el hombre no son tan simples como para modelarlos e intentar resolverlos utilizando únicamente un par de variables; es indispensable hacer un análisis multivariado. La regresión múltiple intenta aproximar en la medida de sus limitaciones soluciones óptimas para estos problemas; la exactitud, sin embargo, es fundamental, y, desafortunadamente, no puede ser proporcionada por un simple plano o un paraboloide, por ejemplo, es indispensable una función más versátil, más complaciente con los "caprichos" del fenómeno en estudio.

Así pues, formalmente, lo que se pretende es la construcción de funciones bivariadas suaves (al menos con sus primeras derivadas parciales continuas) capaces de resolver "optimamente" el problema.

Actualmente, se dispone de un gran número de métodos generados desde muy diversos puntos de vista, los cuales pretenden solucionar el problema empleando herramientas matemáticas tan variadas como la formación de sus autores. En términos generales, sin embargo, podemos clasificar todas esas alternativas, tomando como referencia sus característicasde operación, fundamentación teórica e interdependencia de sus variables conocidas, a través de dos etapas; la primera etapa los divide en globales y locales:

METODOS GLOBALES Y METODOS LOCALES:

Por sus características de operación y fundamentación teórica, los métodos de interpolación pueden dividirse en dos grandes categorías: *métodos globales y métodos locales.* El concepto de método global es fácilmente comprensible: la función interpolante es dependiente de todos los datos puntuales de tal forma que la adición o supresión de uno de ellos o el cambio en una de sus coordenadas repecutirá a lo largo de todo el dominio de la función. En los métodos locales, la adición o supresión de un punto o el cambio en una de sus coordenadas afectará a la función interpolante sólo en los puntos cercanos, es decir, ésta permanecerá invariable en los puntos más retirados.

La segunda etapa, independientemente de su caracter de locales o globales, los clasifica en tres grandes grupos:

1.METODOS INTUITIVOS

2.METODOS ESTADISTICOS

3.METODOS POLINOMIALES

METODOS INTUITIVOS: Son los primeros que se comenzaron a utilizar, matemáticamente son sencillos y de muy fácil asimilación.

Sus representantes más conocidos son, por un lado, los denominados *métodos de inverso de las distancias ponderadas* y por el otro, *métodos basados en la teoría del elemento finito*. Un desgloce más detallado de ellos incluye mínimamente a los siguientes:

Inverso de las distancias
Métodos basados en triangulaciones
Métodos basados en cuadriculas o rejillas

METODOS ESTADISTICOS: De las tres clasificaciones ésta es la más reciente, su desarrollo presenta una historia larga e interesante en la teoría de la probabilidad. Su fundamentación teórica descansa, naturalmente, en la probabilidad y estadística clásicas. Su representante más notable es el método conocido como *Kriging.*

Kriging es un *método lineal insesgado de varianza mínima* , es decir un **estimador** óptimo, que aproxima el valor de una *variable aleatoria* en algún punto a partir de los valores disponibles a su alrededor; proporciona por lo tanto un mapa de isolineas tan exácto como es posible.

En el área de Previsión del **SMN** se utilizan para el diseño de algunos productos (Cartas de Superficie y Altura) programas comerciales como ***SURFER*** el cual trabaja con dos de los métodos descritos anteriormente: Inverso de las distancias y Kriging.

METODOS POLINOMIALES: Sus antecesores directos son los típicos métodos de interpolación con *polinomios y Splines* para funciones con dominio y contradominio en los números reales, por ello se les considera como los algoritmos con el desarrollo teórico más antiguo.

Un posible desgloce de ellos nos conduciría a lo siguiente:

Métodos que utilizan Splines
Métodos que utilizan Superficies Cuádricas

Ambas alternativas utilizan frecuentemente algunos resultados del álgebra lineal.

CARACTERISTICAS DESEABLES

Los 'atributos' mínimos deseables para culquier método de interpolación son:

EXACTITUD: Dado que el objetivo fundamental es el "pronóstico" en base a los datos conocidos, es indispensable que el método sea capaz de producir superficies suaves que redunden finalmente en isolíneas representativas y exáctas.

TIEMPO DE EJECUCION (COMPUTACIONAL): Algunos métodos son bastante eficientes en términos del tiempo requerido para efectuar los cálculos pero desafortunadamente son deficientes en otros aspectos; recíprocamente, hay métodos "lentos" con muy buenas otras características.

REQUERIMIENTOS DE ALMACENAJE (COMPUTACIONAL): Algunos autores consideran que este no es un aspecto crucial a menos que llegue a "grandes dimensiones". Los requerimientos de memoria se cuantifican sólo en términos de los arreglos adicionales necesarios para almacenar los valores entre los puntos (x_k, y_k, f_k) y no tanto por el número de 'variables simples' o la longitud del programa.

FACILIDAD DE IMPLEMENTACION (COMPUTACIONAL): Esta característica está muy vinculada con la naturaleza del algoritmo que se pretenda desarrollar ; como veremos hay algoritmos "matemáticamente muy pesados" con los que independientemente de la ***habilidad del programador y de lo claro que pueda tener el problema*** resultará un programa rebuscado y extenso en código .

Las cotas que nos hemos impuesto para el contenido del presente trabajo, nos permitirán:

Desarrollar dos métodos de acuerdo a la segunda clasificación mencionada, es decir, inverso de las distancias ponderadas y Kriging y hacer algunas comparaciones entre cada una de estas alternativas, mencionando sus bondades y limitaciones más severas así como los posibles vínculos teóricos que pudieran existir entre ellas (Splines es un caso particular de Kriging).

Proponer varios programas de cómputo:

Un programa decodificador de mensajes sinópticos meteorológicos que proporcionará las materias primas (datos) para la consecución del objetivo final.

Un programa que traslada la información meteorológica decodificada a un ambiente gráfico "real" (construcción de mapas y ubicación de los parámetros decodificados sobre ellos).

Un programa que a partir de los datos meteorológicos decodificados (76 a lo más) estimará el valor de 20X33 valores más correspondientes a las coordenadas geográficas (de 5 en 5 grados de latitud y longitud) de la república mexicana.

Utilizar, para la generación de los mapas de isolineas, un programa comercial auxiliar *(SURFER)*, el cual podra emplearse como un simple "trazador" dado un archivo de datos interpolados (archivo .GRD), o como una herramienta que resuelva el problema en paralelo dado el archivo original de datos meteorológicos decodificados. Y finalmente:

Aplicar todo lo anterior a la solución de un problema concreto: Explotar eficientemente la información meteorológica que se recibe de la red de observatorios de México este aprovechamiento óptimo de información abarca desde su decodificación, su "ploteo" en mapas, su interpolación y trazo de isolineas (todo en forma automática), hasta la generación de un pronóstico en tiempo real.

METODO DE INVERSO DE LAS DISTANCIAS PONDERADAS POR MINIMOS CUADRADOS.

ENTORNO

Este método utiliza y desarrolla al máximo la idea intuitiva de que del conjunto de puntos conocidos influyen de manera más representativa sobre un valor intermedio, desconocido que se pretenda estimar aquellos que se encuentran más cerca del punto en cuestión que los que se ubiquen más retirados de él.

Esa influencia en función de la distancia tiene que ser cuantificada de alguna forma y que mejor si esa forma es la "óptima", en el sentido de que tanto a los puntos cercanos como a los lejanos se les asigna un peso mayor o menor pero el mejor de entre todos los posibles.

PLANTEAMIENTO

Para este método es conveniente considerar que los datos de que se dispone provienen de alguna función "subyacente" f y visualizar el proceso de interpolación como un operador aplicado a esta función. Es decir, $f_i = f(x_i, y_i) : i = 1,2,\ldots,n$ es la función subyacente (no olvidemos que se parte del "supuesto" de que se cuenta con una *muestra* de n puntos distribuidos espacialmente) y $S(x,y) = P[f](x,y)$ es el operador.

Definamos $\rho_i(x,y)$ como una función con ciertas propiedades de una función distancia referida a un punto conocido (x_i, y_i). En particular, asumiremos que $\rho_i(x_i,y_i) = 0$, es decir la distancia de un punto a él mismo es cero, y que $1/\rho_i(x,y)$ es una función decreciente no negativa cuando (x,y) se aleja de (x_i, y_i), por ejemplo la distancia Euclidiana usual

$$d_i(x,y)=\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}$$

es una posibilidad para $\rho_i(x,y)$.

Denotaremos por $\Phi_j : j = 1,\ldots,m$ al conjunto de funciones base que serán usadas en la aproximación por mínimos cuadrados.

De esta forma, la expresión general de la función interpolante será

$$P[f](x,y)=\sum_{j=1}^{m} \overline{a_j}(x,y)\phi_j(x,y) \qquad (1.1)$$

Donde $$\overline{a_j}(x,y) \quad : \quad j=1,\ldots,m$$

representa la solución de

$$\underset{a_1,\ldots,a_m}{Min} \sum_{i=1}^{N} [\frac{a_1\phi_1(x_i,y_i)+ \ldots +a_m\phi_m(x_i,y_i)-f_i}{\rho_i(x,y)}]^2 \qquad (1.2)$$

para un *(x,y)* dado.

CASO TIPICO LINEAL (Regresión Lineal Simple)

Recordemos, con el propósito de lograr una mejor comprensión de lo anterior, las ideas básicas del problema de mínimos cuadrados aplicado al análisis de regresión:

Supongamos que como función interpolante queremos utilizar una recta

$$\Rightarrow \qquad P[f](x,y)=ax+b$$

o bien $$\overline{\beta_0}x^0+\overline{\beta_1}x = \sum_{i=0}^{1} \overline{\beta_i}(x,y)x^i = \sum_{i=0}^{1} \overline{\beta_i}(x,y)\phi_i(x,y)$$

con $$\phi_0(x,y)=1 \quad y \quad \phi_1(x,y)=x$$

Donde las funciones beta i's son los parámetros que determinan en forma única la recta (ordenada al origen y pendiente).

Lo que se pretende es, entonces, minimizar la suma de los residuales al cuadrado (diferencia entre los valores observados y los estimados) para de esta forma tener la certeza de estar construyedo la recta óptima que ajusta al conjunto de puntos observados, es decir:

$$\frac{Min}{\overline{\beta_0},\overline{\beta_1}} \sum_{i=1}^{n} e_i^2 = \frac{Min}{\overline{\beta_0},\overline{\beta_1}} \sum_{i=1}^{n} (y_i - y_i^*)^2$$

donde los puntos estimados están dados por la ecuación

$$y_i^* = \overline{\beta_0} + \overline{\beta_1} x$$

$$\Rightarrow \frac{Min}{\overline{\beta_0},\overline{\beta_1}} \sum_{i=1}^{n} (y_i^* - y_i)^2 = \frac{Min}{\overline{\beta_0},\overline{\beta_1}} \sum_{i=1}^{n} (\overline{\beta_0} x_i^0 + \overline{\beta_1} x_i^1 - y_i)^2 \qquad (1.3)$$

$$= \frac{Min}{\overline{\beta_0},\overline{\beta_1}} \sum_{i=1}^{n} (\overline{\beta_0} x_i^0 + \overline{\beta_1} x_i^1 - f_i)^2 = \frac{Min}{\overline{\beta_0},\overline{\beta_1}} \sum_{i=1}^{n} \frac{(\overline{\beta_0}\phi_0(x_i,y_i) + \overline{\beta_1}\phi_1(x_i,y_i) - f_i)^2}{1}$$

La necesidad de que la función distancia sea, en este caso, constante e igual a 1 queda de menifiesto más claramente si consideramos por un lado la solución de la ecuación (1.3) (parámetros de regresión ótimos) y por el otro la solución de la ecuación (1.2) con *i* variado de 0 a 1 y *m* igual a 1

Según sabemos, para el primer caso obtenemos:

$$\overline{\beta_0} = \bar{y} - \overline{\beta_1}\,\bar{x}$$

$$\overline{\beta_1} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i - (\sum x_i)^2}$$

Mientras que para el segundo

REDUCCION AL CASO LINEAL DEL METODO EN ESTUDIO

Problema

$$\underset{a_0,a_1}{Min} \sum_{i=1}^{n} [\frac{a_0+a_1x_i - f_i}{\rho_i(x,y)}]^2$$

$\Rightarrow$ Sea

$$K = \sum_{i=1}^{n} [\frac{a_0+a_1x_i - f_i}{\rho_i(x,y)}]^2$$

$\Rightarrow$

$$\frac{\partial K}{\partial a_0} = 2\sum_{i=1}^{n} [\frac{a_0+a_1x_i - f_i}{\rho_i(x,y)}] * \frac{1}{\rho_i(x,y)}$$

$\Rightarrow$

$$\frac{\partial K}{\partial a_1} = 2\sum_{i=1}^{n} [\frac{a_0+a_1x_i - f_i}{\rho_i(x,y)}] * \frac{x_i}{\rho_i(x,y)}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\partial K}{\partial a_0} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{a_0 + a_1 x_i - f_i}{\rho_i^2(x,y)}\right] = 0$$

$$\Leftrightarrow \quad a_0 \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\rho_i^2} + a_1 \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{\rho_i^2} - \sum_{i=1}^{n} \frac{f_i}{\rho_i^2} = 0$$

$$\Rightarrow \quad a_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{f_i}{\rho_i^2} - a_1 \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{\rho_i^2}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\rho_i^2}} \qquad (1.3.1)$$

A continuacion podemos observar que si en

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{f_i}{\rho_i^2} \quad y \quad \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{\rho_i^2} \quad , \ \rho_i^2 \ \textit{fuera siempre } 1$$

$$\Rightarrow \quad \sum_{i=1}^{n} \frac{f_i}{\rho_i^2} = \sum_{i=1}^{n} f_i \quad y \quad \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{\rho_i^2} = \sum_{i=1}^{n} x_i$$

y además

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\rho_i^2} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{1} = \sum_{i=1}^{n} 1 = n$$

Con lo que (1.3.1) quedaría como

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} f_i - a_1 \sum_{i=1}^{n} x_i}{n} = \bar{y} - a_1 \bar{x}$$

$$\therefore \quad \overline{\beta_0} = a_0$$

Con respecto al otro parámetro observamos que

$$\Rightarrow \quad \frac{\partial K}{\partial a_1} = 0 \quad \Rightarrow \quad \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{a_0 x_i + a_1 x_i^2 - f_i x_i}{\rho_i^2(x,y)}\right] = 0$$

$$\Leftrightarrow \quad a_0 \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{\rho_i^2} + a_1 \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i^2}{\rho_i^2} - \sum_{i=1}^{n} \frac{f_i x_i}{\rho_i^2} = 0$$

$$\Leftrightarrow \quad (\bar{y} - a_1 \bar{x}) \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{\rho_i^2} + a_1 \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i^2}{\rho_i^2} - \sum_{i=1}^{n} \frac{y_i x_i}{\rho_i^2} = 0$$

$$\Leftrightarrow \quad a_1 \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i^2}{\rho_i^2} - \frac{n\bar{x}^2}{\rho_i^2}\right) = \sum_{i=1}^{n} \frac{y_i x_i}{\rho_i^2} - \bar{y} \sum_{i=1}^{n} x_i$$

Si consideramos nuevamente a ρ_i^2 como 0 obtendremos:

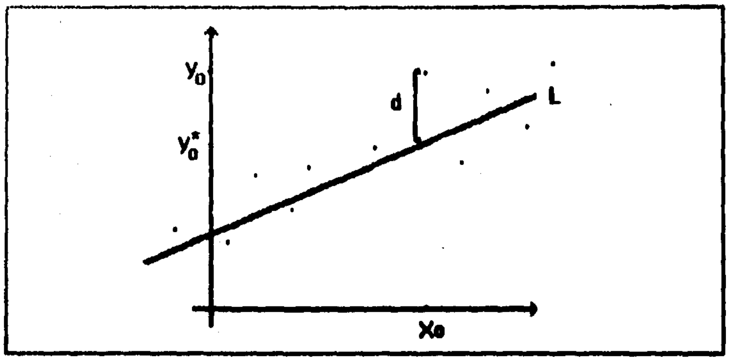
$$\Leftrightarrow \qquad a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{y_i x_i}{\rho_i^2} - \bar{y}\sum_{i=1}^{n} x_i}{\left(\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i^2}{\rho_i^2} - \frac{n\bar{x}^2}{\rho_i^2}\right)}$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i x_i - \bar{y}\sum_{i=1}^{n} x_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sum_{i=1}^{n} (x_i-\bar{x})^2}$$

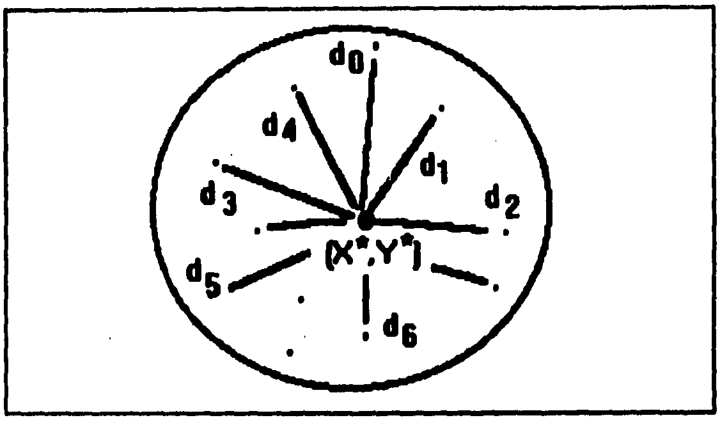
y $\qquad \therefore \qquad \overline{\beta_1} = a_1$

INTERPRETACION GEOMETRICA

La distancia entre dos puntos, el estimado y el observado referida en unidades de ella misma siempre es igual a la unidad. En este caso, sobre el valor "intermedio, desconocido" que queremos estimar *(y_o^*)* solamente influirá el valor conocido y_o.



Cuando la información disponible está constituida por más de un punto, digamos K valores en una vecindad de radio R de un punto (x^*, y^*) intermedio que queremos estimar, la distancia a cada uno de ellos no tiene porque ser constante, es variable, es una función que depende de su localización con respecto al punto en cuestión.



Así pues, el enfoque sencillo y tradicional de los mínimos cuadrados aplicados al análisis de regresión lineal simple puede considerarse como un caso particular del método que estamos describiendo y esto a su vez tiene la ventaja de permitirnos "fijar ideas" y avanzar paralelamente con un modelo de fácil comprensión.

APLICACION DE LAS ECUACIONES NORMALES (Caso Lineal Típico)

Consideremos ahora las *ecuaciones normales* en el modelo de regresión lineal simple (1.3), obtenidas de la derivación de la función interpolante con respecto a sus parámetros, las cuales están dadas por lo siguiente

$$\sum y_i = n\overline{\beta_0} + \overline{\beta_1}\sum x_i$$
$$\sum y_i x_i = \overline{\beta_0}\sum x_i + \overline{\beta_1}\sum x_i^2$$

entonces el determinante de la matriz de coeficientes será

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{bmatrix} = n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2$$

Por otro lado, para poder hablar de la derivada de la función interpolante, dicha función derivada debe de existir, sin embargo en este caso encontramos que

$$P[f\,](x,y) = ax+b = \overline{\beta_0}+\overline{\beta_1}x$$

$$= \bar{y}-\overline{\beta_1}\;\bar{x} + \overline{\beta_1}x = \bar{y}+\overline{\beta_1}(x - \bar{x}) = \bar{y}+\frac{\sum (x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sum (x_i-\bar{x})^2}(x-\bar{x})$$

$$= \bar{y} + \frac{n\sum x_i y_i-\sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i-(\sum x_i)^2}(x-\bar{x})$$

Donde el denominador del segundo sumado es igual al determinante de la matriz de coeficientes de las ecuaciones normales. Por lo tanto, observamos que la existencia de las derivadas del interpolador está sujeta a la no singularidad de dicha matriz.

APORTACIONES Y SELECCION DE HERRAMIENTAS

McLain [7] aportó resultados de un número de pruebas realizadas para la elección de las funciones base, Φ_i, y funciones de distancia ρ_i. Sugirió que los Φ_i consistan de los monomios de "bajo orden" $x^k y^l$, y $\rho_i(x,y)$ sea tomada como

$$d_i, \ d_i^2, \ o \ \ d_i e^{\alpha d_i^2}$$

La potencia más elevada para d_i y la exponencial se deben al deseo de darle menos peso a los puntos lejanos del que les asigna d_i por sí sola.

Notemos que la función (1.1) no estará definida en cualquier punto (x_i, y_i) si se elige alguna de las funciones anteriormente propuestas, puesto que el peso para la mejor aproximación por mínimos cuadrados

$$\frac{1}{\rho_i^2(x,y)} \to \infty$$

cuando $(x,y) \to (x_i, y_i)$, y por tanto es indispensable pedir que

$$p[f](x,y) \to f_i$$

cuando $(x,y) \to (x_i, y_i)$, pues de lo contrario la suma de los errores al cuadrado no estaría acotada. Además obtendremos una aproximación continua si definimos

$$p[f](x_i,y_i) \to f_i \quad : \quad i=1,\ldots,N$$

es decir, el interpolante evaluado en los n puntos disponibles debe de "regresarnos" la imagen conocida.

Mclain demostró que la función interpolante es infinitamente diferenciable lo cual es fácilmente comprobable, según hemos visto, bajo la suposición de no singularidad de la matriz de coeficientes del conjunto de ecuaciones normales obtenidas de (1.2)

En particular, Mclain propuso, retomando la idea de que las funciones base deben de ser igual a $x^k y^l$ y dadas las alternativas para la función distancia (de ponderación) la siguiente función cuadrática bivariada

$$P[f](x,y)=\overline{a_1}+\overline{a_2}x+\overline{a_3}y+\overline{a_4}x^2+\overline{a_5}xy+\overline{a_6}y^2$$

y la función de pesos

$$\rho_i=d_i e^{\alpha d_i^2}$$

y encontró que trabajaban bien para un gran número de casos.

Sin embargo, hasta este nivel y con las herramientas desarrolladas, este método, tiene 2 grandes desventajas:

1.Se requiere un gran esfuerzo computacional puesto que para cada evaluación se necesita resolver un problema de mínimos cuadrados.

2.El método es global, es decir, la función interpolante depende de todos los datos puntuales esparcidos sin importar que tan lejos estén del punto donde la evaluación se está llevando a cabo.

Es indispensable, por lo tanto, de alguna forma introducir modificaciones que redunden finalmente en un método eficiente y exácto

SUSTITUCION DE LOS PARAMETROS OPTIMOS

Modificaciones del método anterior (inverso de las distancias ponderadas por mínimos cuadrados) han remplazado los "parámetros óptimos"

$$\overline{a_j}(x,y)$$

que dependen de toda la información disponible y que tienen que calcularse (con su correspondiente problema de mínimos cuadrados) para cada punto ***(x,y)*** del dominio de interés, con la aproximación

$$A[\overline{a_j}](x,y)$$

De tal forma que se cumpla que

$$A[\overline{a_j}](x_i,y_i) = \overline{a_j}(x_i,y_i) \quad : \quad i=1,\ldots,N$$

Dicha sustitución tiene por objeto utilizar herramientas que no alteren los atributos que hasta ese momento se habían conseguido y que además sean computacionalmente más eficientes pues aunque los

$$\overline{a_j}(x,y)$$

son estimadores óptimos, tienen por otro lado la desventaja de proporcionar información puntual (son *estimadores puntuales*) es decir, para el punto para el cual fue resuelto el problema de mínimos cuadrados y por tanto, habria que resolver tantos problemas de este tipo como puntos quisieramos estimar.

La aproximación utilizada queda definida de la siguiente forma:

$$A[\overline{a_j}](x,y) = \sum_{i=1}^{N} \overline{a_j}(x_i,y_i)W_i(x,y) \quad : \quad j=1,\ldots,m$$

Tal que $$W_i(x_j,y_j) = \delta_{ij} \quad : \quad i,j=1,\ldots,N \qquad \textbf{(1.4)}$$

(delta de *Kronecker*, definida como **1** si $i=j$ y como **0** si $i \neq j$)

Ahora observemos lo siguiente

$$A[\overline{a_j}](x_i,y_i) = \sum_{i=1}^{N} \overline{a_j}(x_i,y_i)W_i(x_i,y_i) = \overline{a_j}(x_i,y_i)\cdot 1 = \overline{a_j}(x_i,y_i)$$

*Con esta expresión encontramos que la aproximación $A[a_j](x,y)$ se mantiene igual a $a_j(x,y)$ en cualquiera de los n puntos conocidos y para cualquiera de los parámetros, y hasta ahí no existe ningún avance pues para cada punto conocido se tiene que calcular un problema de mínimos cuadrados, pero que pasa en algún punto intermedio (x,y), ¿cómo aprovechamos el hecho de ya conocer nm parámetros óptimos para calcularle los que a él le corresponden? : **Observemos** para su primer parámetro

$$A[\overline{a_1}](x,y) = \overline{a_1}(x_1,y_1)W_1(x,y)+\overline{a_1}(x_2,y_2)W_2(x,y)+\overline{a_1}(x_3,y_3)W_3(x,y)+\ldots+\overline{a_1}(x_n,y_n)W_n(x,y)$$

es decir, una "combinación lineal ponderada" del primero de los m parámetros en cada uno de los n puntos conocidos. Nótese que aquí W_i no es ni cero ni uno sino una cantidad que debe de estar en función de la proximidad del punto estimado (x,y) a cada uno de los (x_i, y_i) conocidos.

Con la aproximación anterior para $a_j(x,y)$, es claro, se logra una enorme reducción en el número de operaciones que se tienen que efectuar para estimar un punto intermedio, pues se sustituye el problema de mínimos cuadrados para estimar los m parámetros óptimos (sacar derivadas parciales, plantear un sistema de ecuaciones normalizadas, etc.) por un conjunto de m sumas de productos de dos funciones, una de las cuales (las a_j) siempre aparecerá con un comportamiento muy regular sin importar el punto (x,y) intermedio que se esté estimando, la única función que variará considerablemente es W_i y de ella, en realidad, dependerá la bondad (precisión, exactitud) de las aproximaciones $A[a_j]\ (x,y)$.

*Nótese que con el enfoque anterior, sólo hay que resolver n problemas de mínimos cuadrados: los correspondientes a los n puntos conocidos.

Por lo tanto es muy importante hacer una adecuada elección de las funciones W_i, las cuales, según podemos ver intuitivamente dependerán o quedarán expresadas en términos de las distancias del punto intermedio estimado a cada uno de los n valores conocidos.

Así pues, el operador

$$Q[f](x,y) = \sum_{j=1}^{m} A[\overline{a_j}](x,y)\phi_j(x,y)$$

mantendrá las propiedades interpolatorias de $P[f]$.

Por lo tanto podemos reescribir la expresión anterior para Q como

$$Q[f](x,y) = \sum_{i=1}^{N} W_i(x,y)Q_i(x,y)$$

Donde $$Q_i(x,y) = \sum_{j=1}^{m} \bar{a}_j(x_i,y_i)\phi_j(x,y)$$

es la estimación por inverso de la distancia ponderada por mínimos cuadrados en el punto (x_i, y_i)

Es decir, el interpolante $Q[f](x,y)$ queda expresado como una combinación lineal de funciones nodales ponderadas con una función que depende de la proximidad del punto estimado a cada uno de los puntos conocidos.

Nos referimos a las funciones $Q_i : i = 1,\ldots,N$ como <u>las funciones nodales</u> puesto que ellas están asociadas con los nodos $(x_i, y_i) : i = 1,\ldots,N$ respectivamente. <u>Notemos que $Q_i(x_i, y_i) = f_i : i = 1,\ldots,N$</u> y que $Q_i(x,y)$ es una aproximación local (cerca de (x_i, y_i)) a $f(x,y)$ y como tal debe esperarse que *"emule"* el comportamiento y forma de $f(x,y)$ a menos que los puntos distantes le afectaran en forma considerable.

SELECCION DE LOS W_i

Con el propósito de que el interpolante $Q[f]$ mantenga las características de forma local de las funciones nodales requeriremos ciertas propiedades para los W_i en adición a (1.4). Específicamente, para conservar las siguientes ecuaciones

$$\frac{\partial Q[f]}{\partial x}(x_i,y_i) = \frac{\partial Q_i}{\partial x}(x_i,y_i)$$

y

$$\frac{\partial Q[f]}{\partial y}(x_i,y_i) = \frac{\partial Q_i}{\partial y}(x_i,y_i) \quad : \quad i=1,\ldots,N$$

es indispensable que

$$\frac{\partial W_i}{\partial x}(x_j,y_j) = \frac{\partial W_i}{\partial y}(x_j,y_j) = 0 \quad : \quad i,j=1,\ldots,N$$

puesto que

$$\frac{\partial Q[f]}{\partial x}(x_i,y_i) = \sum \frac{\partial W_i(x_i,y_i)}{\partial x} Q_i(x_i,y_i) + \sum \frac{\partial Q_i(x_i,y_i)}{\partial x} W_i(x_i,y_i)$$

$$\frac{\partial Q[f]}{\partial x}(x_i,y_i) = 0 + \sum \frac{\partial Q_i(x_i,y_i)}{\partial x} W_i(x_i,y_i) = \frac{\partial Q_i(x_i,y_i)}{\partial x}$$

Similarmente para la otra ecuación.

Si proponemos el uso de funciones cuadráticas bivariadas para $Q_i(x,y) : i = 1,\ldots,N$, entonces, si la propia función f fuera una cuadrática, la función Q_i sería idéntica a f, es decir, $Q_i(x,y) = f(x,y) : i = 1,\ldots,N$

Y, por lo tanto

$$Q[f](x,y) = \sum_{i=1}^{N} W_i(x,y) Q_i(x,y) = f(x,y) \sum_{i=1}^{N} W_i(x,y)$$

siempre que f sea una función cuadrática. Con el propósito de obtener una precisión cuadrática del interpolante modificado $Q[f]$, agregamos la siguiente condición

$$\sum_{i=1}^{N} W_i(x,y) = 1 \qquad (1.5)$$

La elección de la función distancia que será utilizada en (1.2) cuando se calculen las funciones nodales fue hecha sobre la base de exaustivas pruebas numéricas [4]. Franke and Little [2] propusieron

$$\frac{1}{\rho_i} = \frac{(R_i-d_i)_+}{R_i d_i} \quad : \quad (R_i-d_i)_+ = \begin{cases} R_i-d_i & : \ R_i-d_i \geq 0 \\ 0 & : \ R_i-d_i < 0 \end{cases} \tag{1.7}$$

Lo cual trabaja bastante bien para elecciones adecuadas de los valores R_i.

Recordemos que Q_k es la solución del problema de inverso de distancias ponderadas por mínimos cuadrados en el punto $(x,y)=(x_k,y_k)$. La discusión acerca de la construcción de Q_k se simplifica si asumimos que

$$Q_k(x,y) = f_k + \overline{a_{k2}}(x-x_k) + \overline{a_{k3}}(y-y_k) + \overline{a_{k4}}(x-x_k)^2 + \overline{a_{k5}}(x-x_k)(y-y_k) + \overline{a_{k6}}(y-y_k)^2$$

Y así sólo buscariamos la solución de

$$\underset{a_{k2},\dots,a_{k6}}{Min} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^{N} \left[\frac{f_k + a_{k2}(x_i-x_k) + \ \dots \ + a_{k6}(y_i-y_k)^2 - f_i}{\rho_i(x_k,y_k)}\right]^2$$

Si $1/\rho_i$ está dado por (1.7), entonces siempre que $d_i(x_k,y_k) > R_i$, el punto (x_i,y_i,f_i) no tiene influencia puesto que su correspondiente término en la suma es cero. Así Q_k depende sólo de los puntos "cercanos" y es por lo tanto una aproximación local a f. Si ahora utilizamos funciones de peso W_k las cuales no se anulan sólo en alguna vecindad de (x_k,y_k) obtendremos un interpolante local.

CONSTRUCCION DE LOS R_i

La elección adecuada del "radio de influencia", R_i, , como veremos a continuación, es un factor determinante para el buen desarrollo del método.

Con respecto a la selección del R_i involucrado en la definición de ρ_i podemos decir lo siguiente:

Mientras que el uso de un radio variable, es decir $R_i \neq R_j$, proporciona flexibilidad al método, se ha encontrado que para propósitos de "interpolación general", la selección de esos valores puede muy frecuentemente ser un obstáculo que puede ser evitado utilizando un valor uniforme ($R_i = R$ para toda i).

Por otro lado, es importante noter que las funciones distancia ρ_i se presentan en dos lugares:

1. En la definición de las funciones nodales Q_k

2. En la definición de las funciones de peso W_k (ver el *caso particular,* "Método de Shepard")

No es necesario utilizar el mismo "radio de influencia" en ambas situaciones, diversas pruebas han mostrado que es preferible utilizar diferentes valores, digamos $R = R_q$ en la definición de las funciones nodales y $R = R_w$ en la definición de las funciones de peso. Puesto que R_q denota el "radio de influencia" de los puntos en las funciones nodales y R_w el "radio de influencia" de las funciones nodales en la función interpolante $Q[f](x,y)$, resulta claro que debemos de elegir $R_w \leq R_q$. Con el propósito de hacer una elección razonable de ambos radios, se ha encontrado conveniente definir valores N_w y N_q, y calcular el radio de la región de influencia de acuerdo a las siguiente relaciones:

$$R_q = \frac{D}{2}\sqrt{\frac{N_q}{N}}$$

$$R_w = \frac{D}{2}\sqrt{\frac{N_w}{N}}$$

Donde

$$D = \max_{i,j} d_i(x_j, y_j)$$

Los valores de N_w y N_q representan el número de puntos que anticipadamente proponemos se encontrarán en círculos de radio R_w y R_q respectivamente. Para datos que de alguna forma están distribuidos uniformemente, se ha encontrado que un valor de $N_q = 18$ funciona bastante bien. Para conjuntos de datos que tienen algunas regiones en las que están relativamente separados y otras en las que están relativamte densos, o para conjuntos pequeños de datos $(N < 25)$, es necesario incrementar el número de datos, puesto que la función interpolante está definida únicamente en la unión de los circulos de radio R_w centrados en los puntos conocidos $(x_i, y_i) : i = 1,\ldots,N$. También se ha encontrado que el uso de la relación $N_q / N_w \approx 2$ es muy útil. Para evitar problemas cuando son menos de 5 datos los que se ecuentran a una distancia R_q de un (x_i, y_i) dado, se ha incorporado un *"fallback"* automático a las funciones nodales lineales. En general se utiliza una *descomposición en valores singulares* para calcular los coeficientes de las funciones nodales, con lo cual se evita un posible problema de no unicidad.

SINTESIS

Finalmente como recapitulación, y a manera de "ejemplo", mencionaremos nuevamente los pasos escenciales de este método:

i) Seleccionar N_q y N_w con el propósito de definir:

$$\frac{1}{\rho_i} = \frac{(R_q - d_i)_+}{R_q d_i} \quad : \quad R_q = \frac{D}{2}\sqrt{\frac{N_q}{N}}$$

$$\frac{1}{\rho_i^*}=\frac{(R_w-d_i)_+}{R_w d_i} \quad : \quad R_w=\frac{D}{2}\sqrt{\frac{N_w}{N}}$$

Los valores por *Default* para N_q y N_w son 18 y 9 respectivamente.

ii) Para $k=1,\ldots,N$, resolver el siguiente problema de mínimos cuadrados:

$$\underset{a_{kj}\,:\, j=2,\ldots,6}{Min} \sum_{\substack{i=1\\ i\neq k}}^{N} \left[\frac{f_k+a_{k2}(x_i-x_k)+a_{k3}(y_i-y_k)+a_{k4}(x_i-x_k)^2+a_{k5}(x_i-x_k)(y_i-y_k)+a_{k6}(y_i-y_k)^2-f_i}{\rho_i(x_k,y_k)}\right]^2$$

para obtener

$$\overline{a_{kj}} \quad : \quad j=2,\ldots,6$$

iii) Definir

$$Q_k(x,y)=f_k+\overline{a_{k2}}(x-x_k)+\overline{a_{k3}}(y-y_k)+\overline{a_{k4}}(x-x_k)^2+\overline{a_{k5}}(x-x_k)(y-y_k)+\overline{a_{k6}}(y-y_k)^2$$

y calcular

$$Q[f](x,y)=\frac{\displaystyle\sum_{k=1}^{N}\frac{Q_k(x,y)}{\rho_k^{*2}(x,y)}}{\displaystyle\sum_{k=1}^{N}\frac{1}{\rho_k^{*2}(x,y)}}$$

UN CASO PARTICULAR (Método de Shepard)

Otro caso particular, y más sencillo, para el método de inverso de las distancias ponderadas por mínimos cuadrados, (1.1)-(1.2), queda establecido cuando $m = 1$ y $\Phi_1(x) = 1$. Entonces, al resolver (1.2), obtendremos que

$$\overline{a_1}(x,y)=\frac{\displaystyle\sum_{i=1}^{N}\frac{f_i}{\rho_i^2(x,y)}}{\displaystyle\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{\rho_i^2(x,y)}}$$

Y así

$$P[f]=\frac{\displaystyle\sum_{i=1}^{N}\frac{f_i}{\rho_i^2}}{\displaystyle\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{\rho_i^2}}$$

Inicialmente, este método fue propuesto por Shepard. Desafortunadamente, si se trabaja con él sin ninguna modificación no se tendrán buenas propiedades de ajuste. Claramente, el método de Shepard es un caso particular del método de inverso de las distancias ponderadas por mínimos cuadrados y ello ha sido puntualizado por varios autores [10]. Puede verificarse fácilmente que mientras $\rho_i(x_i, y_i) = 0$, las funciones

$$W_i = \frac{\dfrac{1}{\rho_i^2}}{\displaystyle\sum_{k=1}^{N} \frac{1}{\rho_i^2}}$$

cumplirán las condiciones impuestas por (1.4),(1.5) y (1.6). En esta última proposición, en realidad, estamos asumiendo que las funciones distancia ρ_i, $i = 1,\ldots,N$ son lo suficientemente suaves como para que las derivadas (1.5) existen. Afortunadamente, este es el caso para la elección de las funciones ρ_i dadas por (1.7).

KRIGING.

PLANTEAMIENTO

Kriging es una técnica de estimación local que proporciona el mejor estimador lineal insesgado (MELI) de la característica desconocida en estudio. Esta limitación a la clase de estimadores lineales es bastante natural, puesto que ello significa que exclusivamente los momentos de segundo orden de la Función Aleatoria (es decir, la covarianza o variograma) son requeridos, y en general, es posible en la práctica *inferir* cualquiera de ellos.

Desde luego que cuando la información estructural (distribución de los puntos conocidos) disponible incluye más que el simple conocimiento de los momentos de segundo orden, entonces los estimadores no lineales, más precisos que Kriging simple, pueden ser definidos.

ECUACIONES DE KRIGING

Sea $Z(x)$ la función aleatoria bajo estudio. $Z(x)$ está definida en los puntos soporte y es estacionaria de segundo orden con :

Esperanza $$E(Z(x))=m$$

donde m es una constante generalmente desconocida.

Covarianza centrada $$E(Z(x+h)Z(x))-m^2 = C(h)$$

Variograma $$E(Z(x+h)-Z(x))^2 = 2\gamma(h)$$

Cualquiera de esos dos momentos de segundo orden se supone conocido. Sin embargo, cuando únicamente existe el variograma, diremos entonces que la Función Aleatoria $Z(x)$ es intrínseca.

Es indispensable definir también la estimación del valor medio de $Z(x)$ sobre un dominio $V(x_0)$

$$Z_v(x_0)=\frac{1}{V}\int_{V(x_0)} Z(x)dx$$

Los datos experimentales que serán utilizados consisten de un conjunto de n valores discretos $\{Z_\alpha : \alpha = 1,\dots,n\}$

Notemos que bajo la hipótesis de estacionalidad (proceso débilmente estacionario) la esperanza de cada uno de esos datos es m, es decir $E(Z_\alpha)=m, \forall \alpha$
La estimación lineal Z^*_K considerada es una combinación lineal de los n valores conocidos, es decir,

$$Z_K^*=\sum_{\alpha=1}^{n} \lambda_\alpha Z_\alpha$$

Los n pesos λ_α son calculados de tal forma que se garantice que el estimador sea insesgado y que la estimación de la varianza sea mínima, y por lo tanto, diremos que el estimador Z^*_K es óptimo.

CONDICIONES DE INSESGAMIENTO:

Para obtener una *esperanza* de error igual a cero en $[Zv - Z_K^*]$ (es decir, realizar un promedio sobre un gran número de situaciones similares) es suficiente con imponer la siguiente condición

$$\sum_{\alpha=1}^{n} \lambda_\alpha = 1$$

puesto que

$$E(Z_K^*) = \sum_\alpha E(\lambda_\alpha Z_\alpha) = \sum_\alpha \lambda_\alpha E(Z_\alpha) = m \sum_\alpha \lambda_\alpha = m = E(Z_V)$$

lo cual implica que

$$E(Z_V - Z_K^*) = 0$$

VARIANZA ESTIMADA MINIMA

Consideremos la siguiente relación $Var\,(Z_V - Z^*_K) = E\{(Z_V - Z^*_K)^2\} - E^2\{(Z_V - Z^*_K)\}$

$$= E(Z_V - Z_K^*)^2 \quad \leftrightarrow \quad Z_K^* = E(Z_V) = m \quad \leftrightarrow \quad \sum_\alpha \lambda_\alpha = 1$$

entonces $E\{(Z_V - Z^*_K)^2\}$ puede ser considerada como una estimación de la varianza, la cual puede, además, expresarse de la siguiente forma

$$E(Z_V - Z_K^*)^2 = E(Z_V^2) - 2E(Z_V Z_K^*) + E(Z_K^{*2})$$

con

$$E(Z_V^2) = \frac{1}{V^2} \int_V dx \int_V E(Z(x)Z(x'))dx' = \overline{C}(V,V) + m^2$$

$$E(Z_V Z_K^*) = \sum_\alpha \lambda_\alpha \frac{1}{Vv_\alpha} \int_V dx \int_{v_\alpha} E(Z(x)Z(x'))dx' = \sum_\alpha \lambda_\alpha \overline{C}(V,v_\alpha) + m^2$$

$$E(Z_K^{*2})=\sum_{\alpha}\sum_{\beta}\lambda_\alpha\lambda_\beta\frac{1}{v_\alpha v_\beta}\int_{v_\alpha}dx\int_{v_\beta}E(Z(x)Z(x'))dx'=\sum_{\alpha}\sum_{\beta}\lambda_\alpha\lambda_\beta\overline{C}(v_\alpha,v_\beta)+m^2$$

Como los términos m^2 se eliminan obtenemos:

$$E((Z_V-Z_K^*)^2)=\overline{C}(V,V)-2\sum_{\alpha}\lambda_\alpha\overline{C}(V,v_\alpha)+\sum_{\alpha}\sum_{\beta}\lambda_\alpha\lambda_\beta\overline{C}(v_\alpha,v_\beta)$$

La notación estándar $\overline{C}(V,v_\alpha)$

designa el valor medio de la función de covarianza **$C(h)$** cuando los dos extremos del vector h en forma independiente describen los dominios **V** y **v_α** respectivamente.

La varianza estimada puede, de esta forma, ser expresada como una forma cuadrática en $\lambda_\alpha,\lambda_\beta$ y será minimizada sujeta a las condiciones de no insesgamiento

$$\sum_{\alpha}\lambda_\alpha=1$$

Las ponderaciones o pesos óptimos se obtienen a través de las técnicas Lagrangianas estándar igualando a cero cada una de las n derivadas parciales

$$\frac{\partial[E(Z_V-Z_K^*)^2-2\mu\sum_\beta \lambda_\beta]}{\partial\lambda_\alpha}$$

$$\frac{\partial}{\partial\lambda_1}[2(\lambda_1\overline{C}(V,v_1)+\ldots+\lambda_n\overline{C}(V,v_n))+\lambda_1\lambda_1\overline{C}(v_1,v_1)+\ldots+\lambda_1\lambda_n\overline{C}(v_1,v_n)+\ldots+\lambda_n\lambda_1\overline{C}(v_n,v_1)+\ldots+$$
$$\lambda_n\lambda_n\overline{C}(v_n,v_n)-\mu(\lambda_1+\ldots+\lambda_n)]$$

$$\vdots$$

$$\frac{\partial}{\partial\lambda_n}[2(\lambda_1\overline{C}(V,v_1)+\ldots+\lambda_n\overline{C}(V,v_n))+\lambda_1\lambda_1\overline{C}(v_1,v_1)+\ldots+\lambda_1\lambda_n\overline{C}(v_1,v_n)+\ldots+\lambda_n\lambda_1\overline{C}(v_n,v_1)+\ldots+$$
$$\lambda_n\lambda_n\overline{C}(v_n,v_n)-\mu(\lambda_1+\ldots+\lambda_n)]$$

Según vemos, este procedimiento proporciona un sistema de (n+1) ecuaciones lineales con (n+1) incógnitas (las n ponderaciones λ_α y el parámetro de Lagrange μ) el cual es conocido como el *"Sistema Kriging"*.

$$\sum_{\beta=1}^{n} \lambda_\beta\overline{C}(v_\alpha,v_\beta) - \mu = \overline{C}(v_\alpha,V) \quad : \quad \forall_\alpha=1 ,\ldots, n \tag{2.1}$$
$$\sum_{\beta=1}^{n} \lambda_\beta = 1$$

La estimación mínima de la varianza *o varianza Kriging* puede entonces ser escrita de la siguiente forma

$$\sigma^2_K = E([Z_v - Z_K^*]^2) = \overline{C}(V,V) + \mu - \sum_{\alpha=1}^{n} \lambda_\alpha \overline{C}(v_\alpha, V) \tag{2.2}$$

Este sistema Kriging también puede ser expresado en términos de la función semivariograma *γ(h)*, particularmente cuando la función aleatoria *Z(x)* es intrínseca solamente y la función da covarianza *C(h)* no está definida.

$$\sum_{\beta=1}^{n} \lambda_\beta \overline{\gamma}(v_\alpha, v_\beta) - \mu = \overline{\gamma}(v_\alpha, V) \quad : \quad \forall_\alpha = 1 ,..., n \tag{2.3}$$

$$\sum_{\beta=1}^{n} \lambda_\beta = 1$$

y

$$\sigma^2_K = \sum_{\alpha} \lambda_\alpha \overline{\gamma}(v_\alpha, V) + \mu - \overline{\gamma}(V,V)$$

FORMA MATRICIAL

En forma matricial el sistema Kriging puede ser expresado como

$$[K]\,[\lambda] = [M2](V)$$

a través de lo cual y utilizando el sistema (2.I), obtenemos

$$[\lambda] = [K]^{-1}\,[M2](V)$$

que es la matriz de coeficientes óptimos que da solución al problema de minimización de la varianza sujeta a las condiciones de insesgamiento planteado inicialmente.

Y por lo tanto, llegamos a la siguiente expresión

$$\begin{aligned} Z_k^* &= \sum_{\alpha}^{n} \lambda_\alpha Z_\alpha \\ &= Z^T[K]^{-1}[M2] \end{aligned} \qquad \textbf{(2.4)}$$

con $Z^T = (Z_1,\ldots,Z_n)$

Observemos que si $a=a_i$, $[M2](V)$ es la i-ésima columna de $[K]$, entonces $[K]^{-1}$ $[M2](a_i) = (0,\ldots,0,1,0,\ldots,0)^T$ donde la unidad está en la i-ésima posición y por lo tanto, $Z^*_i = Z_i$ como se requería.

Lo anterior nos permite expresar la siguiente relación para la varianza

$$\sigma_K^2 = \overline{C}(V,V) - [\lambda]' \, [M2](V)$$

Donde la matriz de incógnitas *[λ]* y el segundo miembro *[M2](V)* pueden ser escritas como dos matrices columna

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_\alpha \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_n \\ -\mu \end{bmatrix} \qquad\qquad [M2](V) = \begin{bmatrix} \overline{C}(v_1,V) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \overline{C}(v_\alpha,V) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \overline{C}(v_n,V) \\ 1 \end{bmatrix}$$

Además el primer miembro ***[K]*** o ***"matriz Kriging"*** **se puede escribir como**

$$
[K] = \begin{bmatrix}
\overline{C}(v_1,v_1) & \ldots & \overline{C}(v_1,v_\beta) & \ldots & \overline{C}(v_1,v_n) & 1 \\
\cdot & & \cdot & & \cdot & \cdot \\
\cdot & & \cdot & & \cdot & \cdot \\
\cdot & & \cdot & & \cdot & \cdot \\
\overline{C}(v_\beta,v_1) & \ldots & \overline{C}(v_\beta,v_\beta) & \ldots & \overline{C}(v_\beta,v_n) & 1 \\
\cdot & & \cdot & & \cdot & \cdot \\
\cdot & & \cdot & & \cdot & \cdot \\
\cdot & & \cdot & & \cdot & \cdot \\
\overline{C}(v_n,v_1) & \ldots & \overline{C}(v_n,v_\beta) & \ldots & \overline{C}(v_n,v_n) & 1 \\
1 & \ldots & 1 & \ldots & 1 & 0
\end{bmatrix}
$$

Nótese que la *"matriz Kriging"* es simétrica, es decir

$$
\overline{C}(v_\alpha,v_\beta) = \overline{C}(v_\beta,v_\alpha) \qquad \forall \alpha,\beta
$$

Pasemos ahora a la situación en la que todas las mediciones son realizadas con errores σ^2. Introduciremos, para ello, notación que nos permitirá comparar este método con el que ha sido desarrollado en varios escritos referidos en la bibliografía (Método de Splines).

Consideremos un conjunto de n observaciones y_i, cada una correspondiente a un punto x_i : $i = 1,\ldots,n$; la función aleatoria en cuestión estará denotada por $f(x)$. Inicialmente, supusimos que dicha función aleatoria era observada sin error de tal forma que $y_i = f(x_i)$: $\forall_i$, pero para este caso tendremos que $y_i = f(x_i) + u_i$: $\forall_i$ donde los u_i tienen media cero y varianza σ^2 y no están correlacionados.

Asumieremos como algo *completamente natural*, el hecho de que esos términos de perturbación no están correlacionados con la función aleatoria f. El objetivo ahora es: ***predecir f(x)*** a través de

$$f^*(x)=\sum_{1}^{n} c_i y_i$$

donde las c_i's serán elegidas de tal forma que minimicen

$$E[f^*(x)-f(x)]^2$$

que puede ser expresado como

$$\sum\sum c_i c_j[\sigma^2\delta_{ij}+C(x_i,x_j)]-2\sum c_i C(x,x_i)+C(x,x)$$

Derivando con respecto a $c_1,\ldots,c_n$ encontramos que

$$D(x)=(\sigma^2 I+C)c$$

de lo que se deduce que

$$c=(\sigma^2 I+C)^{-1}D(x)$$

Donde $D(x) = [C(x_1,x),\ldots,C(x_n,x)]^T$; $C(x,y)$ es la covarianza entre x,y; C es la matriz cuadrada con elementos $C(x_i,y_j)$; $c=[c_1,\ldots,c_n]^T$, e I la matriz identidad.

Por lo tanto, el mejor predictor lineal para $y_1,\ldots,y_n$ está dado por

$$f^*(x)=y^T(\sigma^2 I+C)^{-1}D(x) \tag{2.5}$$

claramente, esta ecuación se reduce a (2.4) cuando $\sigma\to 0$.

Al método anteriormente expuesto se le conoce como *Kriging Simple* cuando se tiene la certeza de que no existen errores en las mediciones efectuadas y como *Cokriging* cuando se sabe que sí existen tales errores, y en ambos casos, las ideas subyacentes básicas son mucho más antiguas en la estadística que en la literarura geoestadística.

ALGUNAS OBSERVACIONES PRACTICAS IMPORTANTES

OBSERVACION 1. *La existencia y unicidad de la solución*. El sistema Kriging (2.1) tiene una única solución si y sólo si la matriz de covarianza

$$[\overline{C}(v_\alpha,v_\beta)]$$

es definida estrictamente positiva y así necesariamente tiene un determinante estrictamente positivo. Por esta razón es suficiente que el modelo de covarianza puntual ***C(h)*** utilizado sea definido positivo y que ninguno de los datos soporte v_α coincida completamente con otro. En realidad $v_\alpha = v_{\alpha'}$ significa que

$$\overline{C}(v_\alpha,v_\beta)=\overline{C}(v_{\alpha}',v_\beta) \quad : \quad \forall\beta$$

y que el determinante $\quad |\overline{C}(v_\alpha,v_\beta)|$

sea, por lo tanto, cero.

OBSERVACION 2. Kriging que es un estimador insesgado, es también un interpolador exácto, es decir, si un punto *(x,y)* que va a ser estimado coincide con uno de los puntos soporte (dato conocido *(x_i,y_i)*), entonces el ***sistema Kriging*** porporciona:

i) Un estimador Z_k^* idéntido al valor conocido

ii) Una varianza igual a cero, es decir, $\sigma_k^2 = 0$.

En realidad, la "superficie Kriging" pasa a través de los datos conocidos, y esta es una propiedad que no todos los procedimientos de estimación satisfacen. Especialmente los métodos que utilizan polinomios generados por mínimos cuadrados.

OBSERVACION 3. El sistema Kriging, así como la varianza Kriging, dependen únicamente de las relaciones $C(h)$ o $\gamma(h)$ y de las "geometrías relativas" de los puntos soporte pero no de sus imágenes particulares, y por lo tanto, una vez que la configuración de los datos es conocida y antes de que se proceda a la obtención de las imágenes (decodificación de la información o consecución de los valores por métodos manuales), el *sistema Kriging* puede ser resuelto y su correspondiente *estimación mínima de la varianza* puede ser pronosticada.

OBSERVACION 4. La *matriz Kriging* $[K]$ depende únicamente de las geometrías relativas de los puntos soporte y no de la forma del dominio que sera estimado, y por tanto, dos configuraciones idénticas de datos deben de proporcionar la misma matriz Kriging y será suficiente calcular su matriz inversa $[K]^1$ sólo una vez.

Las dos matrices solución (matrices columna) $[\lambda]$ y $[\lambda']$ se obtienen considerando los productos de $[K]^1$ con las matrices del segundo miembro, es decir :

$$[\lambda] = [K]^1 [M2] \qquad \text{y} \qquad [\lambda'] = [K]^1 [M2']$$

Si adicionalmente a una idéntica configuración de los puntos soporte, es decir $[K] = [K']$, los dos dominios que serán estimados tienen la misma forma, entonces $[M2] = [M2']$, $[\lambda] = [\lambda']$, y por lo tanto es suficiente con resolver el sistema Kriging sólo una vez con el consecuente ahorro de tiempo computacional.

ENTORNO

VARIABLE ALEATORIA, FUNCION ALEATORIA.

Recordemos que una variable aleatoria es una función cuyo dominio es el espacio muestral Ω y su contradominio el conjunto de los números reales ($X : \Omega \rightarrow \mathbb{R}$), de tal forma que las imágenes que asume están determinadas por alguna función de distribución de probabilidad *(función de densidad)*.

Ej: Se cuenta con un dado que en lugar de un número en cada cara tiene estampado un color diferente. El dado se lanza 5 veces.

Sea X = Color obtenido en cada lanzamiento

Ω = {rojo,azul,verde,blanco,amarillo,violeta}

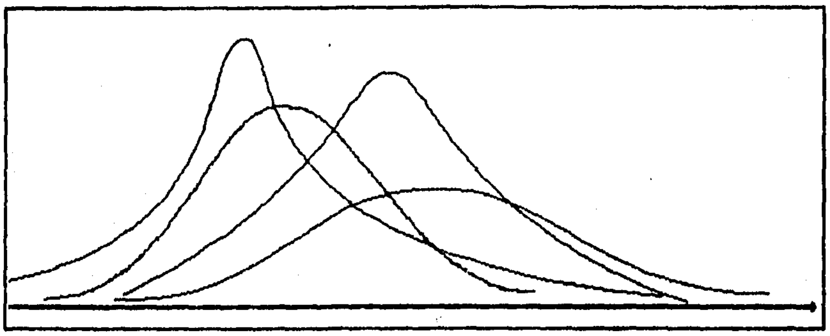
$\Rightarrow$ Supongamos que $X(rojo) = \Pi$, $X(azul) = 7+\sqrt{2}$, $X(verde) = 24$, $X(blanco) = 13$, $X(amarillo) = 62.5$

Notemos, sin embargo, que cada una de las 5 evaluaciones $X_i(\omega_i)$ $i = 1,2,\ldots,5$ de la variable aleatoria puede ser pensada como la realización de una variable aleatoria que *"cobra vida"* por sí sola, es decir, X(rojo) = Π puede pensarse como una nueva variable aleatoria evaluada en uno de sus seis elementos del dominio y cuya imagen en este caso es Π pero que claramente pudo haber sido cualquier otro real. Análogamente los cuatro restantes.

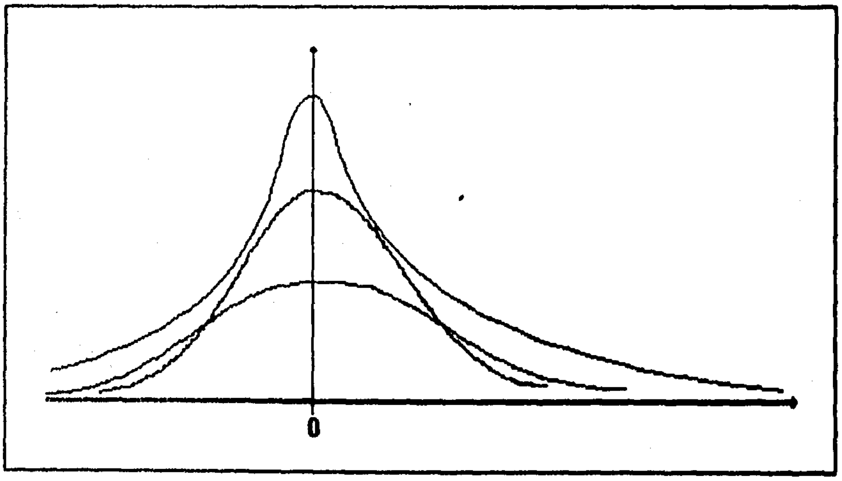
A este *conjunto* de nuevas variables aleatorias generadas a partir de una variable original se le conoce como *Función Aleatoria.*

PARAMETROS, ESTIMACION, ESTIMADORES *MELI.*

En el ambiente de la probabilidad y la estadística, un *parámetro* se define como una "variable" que determina en forma unívoca alguna función de distribución de probabilidades (proveniente del estudio de algún fenómeno de una población) por tanto, esa variable una vez determinada queda fija y caracterizando perfectamente el comportamiento de la población a través de su función de densidad (distribución de probabilidades).



Supongamos, por ejemplo, que tenemos una población cuya función de densidad (determinada por algún método) es una normal con media y varianzas no especificadas pero existentes. En este problema tenemos no uno sino dos parámetros que, en realidad, tratados de la forma adecuada pueden considerarse como uno solo (1 vector con dos componentes o un parámetro en R^2). Claramente, mientras no conozcemos el valor del parámetro estamos limitados a saber sólo que la media y varianza de la función de densidad pueden ser cualquier par de números reales y que su representación gráfica, por ejemplo, puede ubicarse en cualquier punto del eje real y tener cualquier forma (ancha,angosta,"picuda")



Pero si ahora supieramos que la media de la función de densidad es cero (aunque siguiera sin especificarse la verianza) dicha función estaría ya más cerca de ser determinada puesto que de esta forma se tendría que de entre todos los números reales posibles es justamente alrededor el cero donde la función es simétrica y esto "reduce enormemente" las posibilidades para la forma de la función.

No obstente, son todavía una infinidad de funciones las que se ajustan a la pseudocarecterización impuesta por $E(X)=0$.

Qué pasará ahora si especificamos también la varianza de la función. Observemos, dado que de alguna forma este número nos indica donde estarán los puntos de inflexión (en $E(X)-(Var(X))^{½}$ y $E(X)+(Var(X))^{½}$ o $\mu-\sigma$ y $\mu+\sigma$) que aparentemente el número de funciones cadidatas se reduciría considerablemente a aquellas que siendo simétricas en $x=0$ y con puntos de inflexión en $\mu-\sigma$ y $\mu+\sigma$ tuvieran cualquier imágen (máximo global) en $x=0$ sin embargo no es así, solamente existe una función que debido a su naturaleza de función de densidad o de distribución de probabilidades

$$\int_{-\infty}^{\infty} f = 1$$

posee ambos atributos.

Así pues, vemos como la determinación de los parámetros de una función de densidad caracteriza en forma exclusiva su forma, comportemiento y peculiaridades y ello es valiosísimo para la *inferencia estadística.*

Para la estadística clásica, el problema de la *estimación de parámetros* (θ) a partir de una muestra presentó gran relevancia, se pretendía encontrar algún *"indicador"* que nos permitierá *"inferir o pronósticar"* el comportamiento de alguna característica desconocida o poco precisa de la población.

Evidentemente, se buscó que esta aproximación fuera lo más exacta posible, lo cual se consigue si minimizamos la diferencia entre el valor propuesto y el valor verdadero (parámetro poblacional) es decir:

$$\textit{Minimizar} \qquad E[(\theta^{*}-\theta)^{2}] \qquad (2.1)$$

y como (2.1) es igual a $\quad Var(\theta^{*})+Sesgo^{2}(\theta^{*}) \qquad (2.2)$

donde θ = parámetro poblacional (valor verdadero desconocido), θ^* = estimador o predictor.

Entonces el problema se reduce a minimizar cada uno de los sumandos, es decir, a encontrar un estimador con la varianza y sesgo mínimos.

Así pues, como una primera aproximación, bastante natural, se limitó el problema de la *"construcción"* del estimador del parámetro poblacional de tal forma que únicamente se considerarían *predictores o estimadores "insesgados"*, es decir, aquellos para los que su esperanza es igual al parámetro mismo o con otras palabras, aquellos para los que su sesgo es igual a cero.

$$E(\theta^*)=\theta$$

o bien
$$E(\theta^*)-\theta = 0$$

pues de esta forma se garantiza que será un indicador preciso, exacto, fiel (medianamente pues falta ver qué pasa con su varianza).

Con respecto a la *minimización de la varianza*, se desarrollaron cotas superiores que permiten visualizar la bondad de los estimadores propuestos y se aportaron algunos teoremas con suficiente aplicación práctica que permiten decidir fácilmente si algún estimador tiene o no la menor varianza.

Ahora bien, sobra decir que en términos prácticos siempre es más codiciada una relación lineal, una ecuación lineal, o en términos más generales, la representación mediante un modelo lineal de algún fenómeno en estudio , que una relación no lineal (suponiendo que son igualmente buenos en sus otras características) pues la primera resulta ser de manipulación algebraica más sencilla y de interpretación geométrica más indediata.

Los estimadores, evidentemente, tienen un comportamiento similar, es decir, los hay lineales y no lineales y los primeros son los más valorados.

A esta selecta clase de estimadores insesgados, lineales y que tienen varianza mínima se les conoce como estimadores ***MELI***.

Ej: Supongamos tener una Muestra Aleatoria $X_1, X_2, \ldots X_n$ de una función de distribución de probabilidades $f(x,\theta)=\theta e^{-\theta x}$: $x \in [0,\infty)$ y que queremos estimar el parámetro $1/\theta$.

$\bar{x}$ es un estimador insesgado, lineal y se puede probar que tiene varianza mínima; por lo tanto es un estimador MELI

MOMENTOS, MOMENTOS CENTRALES, MOMENTOS DE 2º ORDEN.

Por otro lado, sabemos que si X es una Variable Aleatoria, el r-ésimo momento del X denotado por μ_r' se define como

$$\mu_r' = E(X^r)$$

si la esperanza existe. Notemos que $\mu_1' = E(X)$, es decir la media de X.

Además, si X es Variable Aleatoria, el r-ésimo momento central de X alrededor de a (a constante) se define como $E[(X-a)^r]$ y si $a = \mu_x$, tendremos el r-ésimo momento central alrededor de la media denotado por μ_r y definido como

$$\mu_r = E[(X-\mu_x)^r] = \int_R (X-\mu_x)^r f_X(x)dx$$

Notemos que $\mu_1 = E(X-\mu_x) = 0$ y que $\mu_2 = E(X-\mu_x)^2$ es igual a la varianza de X, *es decir*, <u>el segundo momento central alrededor de la media es igual a la varianza.</u>

Si ahora tenemos 2 Variables Aleatorias X, Y o X_t, X_{t+h} definidas en el mismo espacio de probabilidad, la covarianza de X y Y (o autocovarianza, pues se trata de la misma variable aleatoria recorrida h períodos en el tiempo, de X_t y X_{t+h}) se define como

$$Cov(X,Y) = E[(X-\mu_x)(Y-\mu_y)] = E(XY) - \mu_x\mu_y$$

Notemos que la covarianza (autocovarianza) de una Variable Aleatoria consigomisma es igual a su varianza. Así pues en el fondo, ***<u>la covarianza también</u>*** *<u>es un momento de segundo orden</u>*.

VARIOGRAMA

Si consideramos 2 Variables Aleatorias $Z(x)$ y $Z(x+h)$ en dos puntos x y $x+h$ separados por un vector h, la variabilidad entre esas dos cantidades está caracterizada por la función variograma $2\gamma(x,h)$ la cual está definida como la esperanza de de la también Variable Aleatoria $(Z(x) - Z(x+h))^2$, es decir,

$$2\gamma(x,h)=E(Z(x)-Z(x+h))^2$$

Esta función depende tanto del punto x como del vector h y por lo tanto su estimación requiere de varias realizaciones, $(z_i(x)\,,\, z_i(x+h))$, del par de Variables Aleatorias $(Z(x)\,,\, Z(x+h))$ pero en la práctica sólo una de tales realizaciones está disponible y es la que corresponde a las mediciones actuales de los valores en los puntos x y $x+h$.

Para evitar este problema, se introduce la hipótesis intrínseca, la cual consiste en considerar que el variograma $2\gamma(x,h)$ depende sólo del vector de separación h (módulo y dirección) y no de la localización del punto x. De esta forma, es posible estimar el variograma $2\gamma(h)$ a partir de los datos disponibles.

Un estimador $2\gamma^*(h)$ es la media aritmética de las diferecias al cuadrado entre dos medidas experimentales $(Z(x_i)\,,\, Z(x_i+h))$ en cualquier par de puntos separados por el vector h; es decir,

$$2\gamma^*(h)=\frac{1}{N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[z(x_i)-z(x_i+h)]^2$$

Donde $N(h)$ es el número de pares experimentales $(Z(x_i)\,,\, Z(x_i+h))$ de datos separados por el vector h.

Nótese que el variograma así definido puede ser visto como una estimación de la varianza. La varianza del error cometido cuando la imagen en el punto x es estimada por la imagen en el punto $x+h$

Por lo tanto, resulta que también *el variograma puede considerarse como un momento de segundo orden*

ESTACIONALIDAD DE ORDEN 2 (PROCESO DEBILMENTE ESTACIONARIO)

Estacionalidad de orden 2 o Proceso débilmente estacionario: Se dice que una Función Aleatoria es estacionaria de orden 2 o débilmente estacionaria cuando:

i) La esperanza matemática, $E(Z(x))$, existe y no depende del *punto soporte* x, es decir:

$$E(Z(x))=m \quad : \quad \forall x$$

ii) **Para cada par de Variable Aleatorias** ***{Z(x),Z(x+h)}*** **la covarianza existe y depende de la distancia de separación** ***h***

$$C(h) = E(Z(x+h)\cdot Z(x)) - m^2 \quad : \quad \forall x$$

donde ***h*** **representa un vector de coordenadas** ***(h_u,h_v,h_w)*** **en el espacio tridimensional.**

La estacionalidad de la covarianza implica la **estacionalidad de la varianza y del variograma, según podemos ver en las siguientes ecuaciones:**

$$Var(Z(x))=E(Z(x)-m)^2=C(0) \quad : \quad \forall x$$

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E(Z(x+h)\cdot Z(x))^2 = C(0)-C(h) \quad : \quad \forall x$$

Esta última ecuación indica que bajo la **hipótesis de estacionalidad de segundo orden,** la covarianza y el **variograma son dos herramientas equivalentes para** caracterizar la autocorrelación entre **dos variables** ***Z(x+h)*** y ***Z(x)*** **separadas por una** distancia ***h.***

HIPOTESIS INTRINSECA

Decimos que una función aleatoria es intrínseca cuando:

i) La esperanza matemática existe y no depende del punto soporte ***x***

ii) Para todos los vectores ***h,*** **el incremento** ***(Z(x+h)-Z(x))*** **tiene una varianza finita la cual no depende de** ***x***

$$Var(Z(x+h)-Z(x))=E(Z(x+h)-Z(x))^2 = 2\gamma(h) \quad : \quad \forall x$$

De esta forma, la estacionalidad de segundo orden implica la hipótesis intrínseca pero el inverso no es válido

ESTIMACION DE LA VARIANZA

Sea $Z(x)$ una Función Aleatoria estacionaria de segundo orden con Esperanza m, Covarianza $C(h)$, y semivariograma $\gamma(h)$.
Consideremos primero el caso simple de la estimación de la media aritmética z_K, de los K valores desconocidos $\{z(x_k) : k = 1 \text{ a } K\}$:

$$z_K = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} z(x_k)$$

Un estimador lineal z_K^* de z_K, dada la información de que se dispone, es la media aritmética de los n datos disponibles $\{z(x_i) : i = 1 \text{ a } n\}$:

$$z_K^* = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} z(x_i)$$

GENERALIZACION AL CASO CONTINUO

Supongamos ahora que los K puntos x_k están localizados en una región V centrada en el punto x y que los n puntos x_i dentro de otra región v centrada en el punto x', si K y n tienden a infinito las anteriores medias aritméticas z_K y z_K^* tienden a los valores medios en V y v de la variable $z(y)$, es decir,

$$z_K \mapsto z_V(x) = \frac{1}{V}\int_{V(x)} z(y)dy \qquad y \qquad z_K' \mapsto z_v(x') = \frac{1}{v}\int_{v(x')} z(y)dy$$

Esos valores medios $z_V(x)$ y $z_v(x')$ son interpretados como realizaciones particulares de dos variables aleatorias $Z_V(x)$ y $Z_v(x')$:

$$Z_V(x) = \frac{1}{V}\int_{V(x)} Z(y)dy \qquad y \qquad Z_v(x') = \frac{1}{v}\int_{v(x')} Z(y)dy$$

$$\Rightarrow \qquad Z_V^2(x) = \frac{1}{V^2}\left[\int_{V(x)} Z(y)dy \cdot \int_{V(x)} Z(y)dy\right]$$

$$= \frac{1}{V^2}\left[\int_V dy \int_V Z(y)Z(y')dy'\right] \qquad \Rightarrow \qquad E(Z_V^2(x)) = \frac{1}{V^2}\left[\int_V dy \int_V E(Z(y)Z(y'))dy'\right]$$

y como $\qquad$ ***Cov(X,Y) = E(X,Y)-E(X)E(Y)***

$$\Rightarrow \qquad E(Z_V^2(x)) = \frac{1}{V^2}\left[\int_V dy \int_V (C(y-y')+m^2)dy'\right.$$

donde y-y' denota la distancia que existe entre el par de variables $Z(y)$ y $Z(y')$

$$=\frac{1}{V^2}\left[\int_V dy\left(\int_V C(y-y')dy'+\int_V m^2 dy'\right)\right]$$

$$=\frac{1}{V^2}\int_V\int_V C(y-y')dydy'+\int_V Vm^2 dy' \quad = \quad \overline{C}(V,V)+m^2$$

Donde $\overline{C}(V,V)$

denota el valor medio de la función covarianza cuando ambos extremos del vector ***h*** describen el dominio ***V(x)***

APLICACION

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Dependiendo del área en la que se esté inmerso y del tema que se desee abordar se clasifican sectores geográficos del planeta estableciendo como directrices básicas de clasificación algunas de las características propias de la región. Así por ejemplo, se habla de paises tercermundistas, capitalistas y socialistas, de paises miembros o no de tal o cual mercado o asociación comercial o financiera, de paises de raza negra, nórdica o amarilla, de paises con armamento nuclear o que carecen de él,etc.

"Meteorológicamente" hablando, también se establece una división del planeta, y en este caso se hace referencia a 4 regiones: *"Las cuatro regiones meteorológicas mundiales"*. México, Alaska, Canadá, EE.UU, Centro América y el Caribe conforman la denominada cuarta región. En ella individualmente cada país lleva un control más o menos serio, más o menos moderno, más o menos de calidad (según el país en cuestión), de sus condiciones meteorológicas, pero además existe el compromiso institucional entre los Servicios Meteorológicos de estos países por mantener un intercambio permamente de información.

De esta forma, México cuenta con información generada internamente a través de su red de observatorios y con datos obtenidos en los países restantes vía comunicación satelital con EE.UU. (pues este país es un centro regional de recolección) es decir, con información de toda la cuarta Región.

Todo este cúmulo de mensajes meteorológicos ayuda a comprender mejor y a pronosticar, que es de gran importancia, las condiciones meteorológicas a una escala incluso hemisférica, y, en realidad, así debe de ser, se debe de contar con una visión global, entera, real de la situación meteorológica, sin embargo debido a una gran diversidad de limitaciones de toda índole y para fines de nuestra aplicación, abusaremos de lo bondadoso en cuanto a "restricciones al abordar fenómenos de tipo natural" se refiere en los métodos de interpolación presentados y asumiremos que las regiones fuera de la república Mexicana en conjunción con los "nodos internos" generadores de información constituyen simplemente un conjunto de datos esparcidos irregularmente a través de los cuales queremos obtener información en las áreas intermedias . Notemos, sin embargo, que en la práctica este enfoque sencillo se aleja mucho de la realidad pues al estudiar fenómenos naturales hay que considerar "condiciones externas" que intervienen directamente en su comportamiento.

Téngase en cuenta, por ejemplo que los sistemas de altas y bajas presiones varian a lo largo del día y a través del año, que las masas de aire y los frentes se desplazan a lo largo de extensas porciones del globo, que las Ondas Tropicales y la posición de la Zona Intertropical de Convergencia está en función de las temperaturas de los océanos y los continentes y que todo ello, en conjunción con muchos fenómenos meteorológicos más, afecta un comportamiento sencillo e ideal y regulan notablemente las condiciones atmosféricas.

Estas "variables extras", evidentemente, presentan una difucultad inata para "dejarse" modelar y conjuntarse de tal forma que el resultado sea un producto (modelo, sistema o fórmula mágica) receptor de información y emanador de, por ejemplo, pronósticos.

En las aplicaciones de la *Meteorológia Clásica o Tradicional*, el producto que se desarrolla y posteriormente se explota con fines de pronosticar el estado del tiempo lo constituyen las denominadas cartas de superficie y cartas de altura, las cuales no son mas que mapas de isolineas o curvas de nivel generadas a partir de un conjunto de datos meteorológicos de superficie o de algunos niveles de altura en la atmósfera, estos mapas o cartas en muchos casos son todavá elaborados a mano; se consideran, por ejemplo, para el caso de observaciones de altura, los datos que los centros de radiosondeo a través de las radiosondas registran y transmiten para un nivel de presión específico, 500 milibares entre otros, se conjunta toda la información y a partir de esta colección discreta e irregualrmente distribuida de datos se "adivina" el comportamiento del parámetro en todos los puntos restantes; salta a la vista que con este método, incluso al especialista más experimentado se le presentan cotidianamente diversos tipos de impresiciones o, incluso, errores severos.

Para nuestra aplicación, nosotros utilizaremos la información de superficie proporcionada por la red de Observatorios del Servicio Meteorológico Nacional (84 en total de los cuales sólo 79 transmiten regularmente)

NATURALEZA DE LA INFORMACION UTILIZADA

Diariamente el Servicio Meteorológico Nacional recibe una gran cantidad de información de caracter meteorológico proveniente directa o indirectamente de su red de observatorios destribuidos a lo largo y ancho de la republica mexicana.

Los mensajes se reciben a través de teléfono (el observador dicta y el operador en el Centro Nacional de Captura, *Radio XBA*, captura en terminales), via módem (el personal en los observatorios crea el archivo de cómputo y utilizando programas comerciales de comunicación como *Telix o Bitcom*, se enlaza con XBA y le transmite el mensaje), por radio de banda lateral (BLU) y vía satélite (GOES).

El contenido, como deciamos, es de naturaleza meteorológica, es decir, cada uno de los observatorios registra periódicamente las condiciones meteorologicas de su entorno (temperatura del aire, presión atmosférica, dirección e intensidad del viento, precipitación, nubosidad, temperatura de punto de rocío, etc.) las codifica según formatos y convenciones reconocidos mundialmente y las transmite a un centro regional o directamente al centro nacional según su ubicación geográfica.

Existen diferentes tipos de mensajes según la naturaleza de las observaciones que contengan y e lugar desde el cual hayan sido efectuadas, éstas pueden ser de superficie y de altura, dentro de los de superficie se encuentran aquellos que son generados por los observatorios (puntos fijos y "corto alcance"), aquellos que son

generados desde diferentes puntos de los oceanos por barcos equipados con equipo meteorológico (puntos móviles) y aquellos que son efectuados con radares (puntos fijos y "gran alcance"). La información de altura, por otro lado, se obtiene a través de globos piloto, globos equipados con *radiosondas* y con *Satelites Meteorológicos*, para dar origen a mensajes PILOT, RADIOSONDEOS e IMAGENES de la situación actual del territorio nacional respectivamene.

Para un buen análisis del estado del tiempo que redunde finalmente en un excelente pronóstico, se requiere, indiscutiblemente, establecer un adecuado balance entre el tipo de información que se explotará: de superficie o de altura, de puntos fijos o puntos móviles, de corto o gran alcance. Es evidente que a mayor información trabajada, corresponden mejores elementos de análisis y resultados de calidad más confiable.

Para nuestra aplicación, nos limitaremos exclusivamente a explotar información de superficie de puntos fijos y de corto alcance, dicha información se encuentra contenida en mensajes denominados *sinópticos* elaborados 8 veces al día (las 0,3,6,9,...,21 hrs, se conocen como horas sinópticas) por c/u de los observatorios de la red del SMN.

FORMATO QUE GUARDA LA INFORMACION UTILIZADA

El formato (una parte) que sirve de patrón para codificar y transmitir este tipo de mensajes se denomina *FM12-IX SYNOP* y está constituido como sigue:

Sección 0

$M_iM_iM_jM_j$ $\quad$ $YYGGi_w$ $\quad$ IIiii

Sección 1

i_Ri_xhVV $\quad$ Nddff (00fff) $\quad$ $1S_nTTT$ $\quad$ $2S_nTdTdTd$

$3P_0P_0P_0P_0$ $\quad$ 4PPPP $\quad$ 5appp $\quad$ $6RRRt_R$ $\quad$ $7wwW_1W_2$

$8N_hC_LC_MC_H$ $\quad$ 9hh//

La codificación completa incluye, cuando menos, una sección más (sección 3) aunque eventualmente se incluye otra más (sección 5).

Cada uno de los grupos representa un elemento meteorológico: El grupo 1 se refiere a la temperatura del aire, el 3 a la presión atmosférica en el nivel de la estación, el 4 presión atomosférica al nivel medio del mar, el 8 a la cantidad y tipo de nubes, etc. Dentro de cada grupo, cada símbolo tiene un significado preciso y claro.

Con toda la información que hemos mostrado y la que se incluye en las secciones restantes se pueden hacer diferentes tipos de análisis, éstos pueden referirse al

comportamiento de sólo un elemento meteorológico o a la variación conjunta de varios de ellos. Nosotros abordaremos el primer caso, esto es, consideraremos a cada elemento en forma aislada y con él desarrollaremos, mediante la aplicación de

la herramienta teórica propuesta algunos programas de cómputo, puntos de vista y argumentos que nos permitan decidir sobre las condiciones inciertas de algún lugar.

SELECCION Y ACOTACION DEL PROBLEMA

Supongamos para fijar ideas, que nos enfrentamos a la siguiente situación que dicho sea de paso es bastante real. La Secretaría de Gobernación desea concer el valor de precipitación que se registrará "en cada punto" de la República Mexicana el 21 de agosto para evitar cualquier tipo de contingencia y en su caso implementar los mecanismos que permitan que la afluencia de votantes no se vea disminuida, para ello encomienda al SMN que de alguna forma proporcione un análisis que permita tener un punto de vista claro y que contribuya a la vez a la consecución de alternativas de solución del problema.

PROCEDIMIENTO A SEGUIR

El SMN haciendo uso de la información histórica con que cuenta para cada observatorio, de alguna forma (mediante técnicas de estadística descriptiva y análisis de regresión) obtiene un número representativo que utilizará en combinación con la información actual (último mes por ejemplo) como información disponible en varios nodos (pues no en todos existía información y a partir de ese conjunto de datos distribuidos irregularmente emitirá un "pronóstico" para la precipitación.

Para explotar la información actual que se encuentra codificada en archivos de cómputo y con formato FM12-IX, los archivos son "pasados" por el programa **DECODI.FOR** el cual, a partir de estos "datos crudos" genera tablas de información decodificada (archivos) que servirán como insumos para otros programas o como material para usuarios finales. Los archivos generados son los siguientes: TAB_COM, DESCRIPT y DAT_MAP

de los cuales, el último, DAT_MAP, es el que contiene la información indispensable para nuestro trabajo: El valor de un parámetro decodificado, que el usuario selecciona, al momento de correr el programa y que puede ser cualquiera de los que contiene el mensaje sinóptico, sin embargo, con fines ilustrativos el código que se presenta únicamente está habilitado para crear DAT_MAP con información de temperatura ambiente, presión atmosférica y precipitación. Además DAT_MAP incluye las coordenadas geográficas del observatorio del cual proviene el valor registrado. Los otros dos archivos son creados para satisfacer necesidades de la sociedad civil y los medios de comunicación pues contienen toda la información decodificada de cada observatorio que envió sus mensajes (TAB_COM) así como *números descriptivos o medidas de tendencia central* de estos datos (DESCRIPTIVO).

De esta forma, la información actual se hace manejable y es posible vincularla a los datos históricos para crear finalmente el "numero mágico" que nos permita efectuar las actividades de "prognosis".

Asumamos pues que la siguiente es la lista de información con su representación geográfica:

LATITUD	LONGITUD	DATOS
33 0	101 00.	24 0
32 0	94 00.	10 0
30 4	107 92.	20 0
30 0	111 00.	18 0
29 2	118 32.	18 0
29 0	107 62.	17 0
28 6	106 07.	23 7
28 7	100 52.	26 0
28 0	80 00.	27 0
28 0	110 80.	30 0
26 9	101 42.	26 8
26 0	94 00.	25 0
25.5	103 45.	24 4
25 9	100 20.	24 0
25 0	91 00.	23 0
24 2	110 35.	25 7
24 0	104 67.	18 4
23 0	114 00.	26 0
23 2	106 42.	27 0
23 7	99 13.	23 0
23 8	98 20.	21 0
22 8	102 58.	11 8
22 2	100 98.	12 8
22 2	97 85.	27 2
21 5	104 88.	19 0
21 8	102 30.	12 0
21.0	101 25.	12 4
21 9	100 00.	20 0
20 7	103 68.	17 4
20 1	98 73.	11 2
20 1	98 37.	11 0
21 0	89 70.	23 8
19 0	115 00.	24 0
19 1	104 33.	25 1
19 7	103 47,	18 5
19 7	101 18.	13 2
19 4	99 13.	12 7
19 9	98 20.	11 5
19 5	96 02.	18 8
19 2	96 12.	25 2
19 9	90 53.	23 3
18 8	111 00.	26 3
18 2	94 42.	26 8
18.5	88 30.	27 8
17 0	117 00.	27 0
17 8	99 50.	18 0
16 8	99 92.	25 5
18 8	93 10.	22 9
18 3	92 13.	19 2
14	106.00.	26
14 92	92.27.	23 3

NOTA: Debemos hacer notar que en las coordenadas geográficas reales las longitudes son negativas, sin embargo, para simplificar les hemos invertido el signo.

Ya en este nivel, atravesaremos, cuando menos, por 3 etapas para la obtención del objetivo final:

PRIMERA FASE

El archivo con formato DAT_MAP le es pasado como archivo de entrada al programa que dibuja mapas DIBMAP.FOR (ver sección de programas) el cual, utilizando 3 archivos más con datos de coordenadas geográficas reales y algunas transformaciones en coordenadas polares, nos muestra en la pantalla un mapa de la cuarta región con sus divisiones de latitud y longitud cada 5 grados, incluyendo además la localización, en la república mexicana exclusivamente, de los observatorios que transmitieron información y que fue decodificada por DECODI.FOR (se marca dibujando una circunferencia).

es posible además, aunque esto aún no esté bien implementado, substituir la circunferencia que representa la localización del observatorio por el valor del parámetro decodificado y posteriormente utilizar los datos resultado de la interpolación para "plotearlos" sobre el mismo mapa y obtener así toda el área de interés rellena de datos estimados, lo cual nos sirve como información distribuida en forma "global y micro" y puede contribuir, indiscutiblemente, a nuestra actividades de pronóstico (ver diagrama de flujo).

SEGUNDA FASE

Para esta opción se desarrollan un par de programas de cómputo cuyo objetivo central es el de tratar de rebasar un marco exclusivamente teórico del tratamiento de los métodos de interpolación, es decir, de alguna forma se intenta implementar herramientas que contribuyan a que realmente sea manejable en la práctica la teoría propuesta.

Ambos programas codifican las ecuaciones del método de inverso de las distancias ponderadas por mínimos cuadrados, aunque esto no quiere decir que sean una aplicación fiel de la teoría pues en ellos se dejan de manifiesto muchas suposiciones y se hacen varias simplificaciones a las ideas teóricas presentadas, por ejemplo: Se utiliza el caso en que $m = 1$ y $\phi_1(x) = 1$ *(Método de Shepard)*; No se definen "radios de influencia" de una manera formal (pues notemos que $m = 1$ y $\phi_1(x) = 1$) además al no considerar las cantidades N_w tampoco se pueden definir radios R_w centrados en los puntos conocidos.

Básicamente, el desarrollo que siguen los programas propuestos está regido por las siguientes etapas:

Se lee el archivo DAT_MAP y su información (latitud, longitud, valor del parámetro decodificado) es trasladada a un arreglo bidimensional en cuyas variables horizontales (renglones) se representan las longitudes y en las verticales (columnas) las latitudes y en la localidad de memoria de cada dirección (referencia cruzada) se elmacena el valor del parámetro.

Debido a que la ubicación real de los observatorios no corresponde a coordenadas enteras sino reales y a que un arreglo (en fortran) no puede referenciarse con índices que no sean enteros, los datos de coordenadas que son leídos de DAT_MAP son redondeados pues de otra forma no sería posible trasladarlos a la matriz; es claro qua este traslado de información, que en términos reales puede traducirse en cientos de kilómetros, redundará finalmente en una pérdida de exactitud que puede incluso ser muy severa.

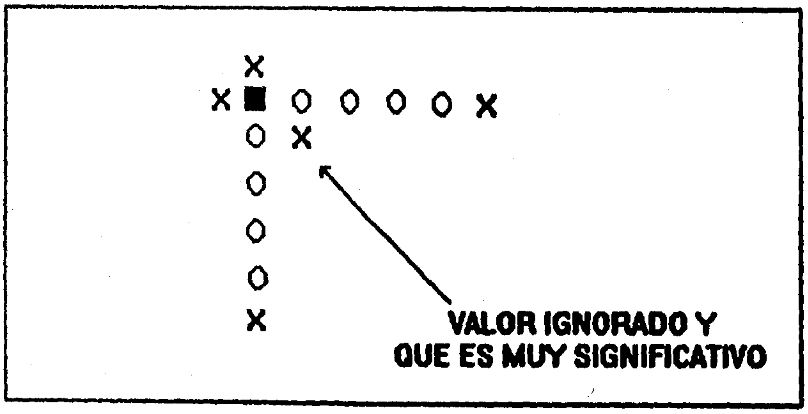
La matriz donde se almacena la información, cuenta con 20 renglones y 33 columnas que es el espacio suficiente para emular las intersecciones geográficas de 5 en 5 grados de latitudes y longitudes en la República Mexicana.
Evidentemente, el archivo DAT_MAP no es suficiente para cubrir 20x33 variables pues este contiene a lo más 79 datos.

0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	24.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	18.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	20.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	18.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	16.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	17.0	23.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	26.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	27.0	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	30.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	26.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	25.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	24.4	0.1	0.1	24.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	23.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	25.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	18.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	26.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	27.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	23.0	21.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	11.8	0.1	12.8	0.1	0.1	27.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	19.8	0.1	12.0	12.4	20.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	17.4	0.1	0.1	0.1	0.1	11.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	23.8	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	24.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	25.1	16.5	0.1	13.2	0.1	12.7	11.6	0.1	26.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	23.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	26.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	26.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	27.8	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	27.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	18.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	25.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	22.8	18.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	26.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	23.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

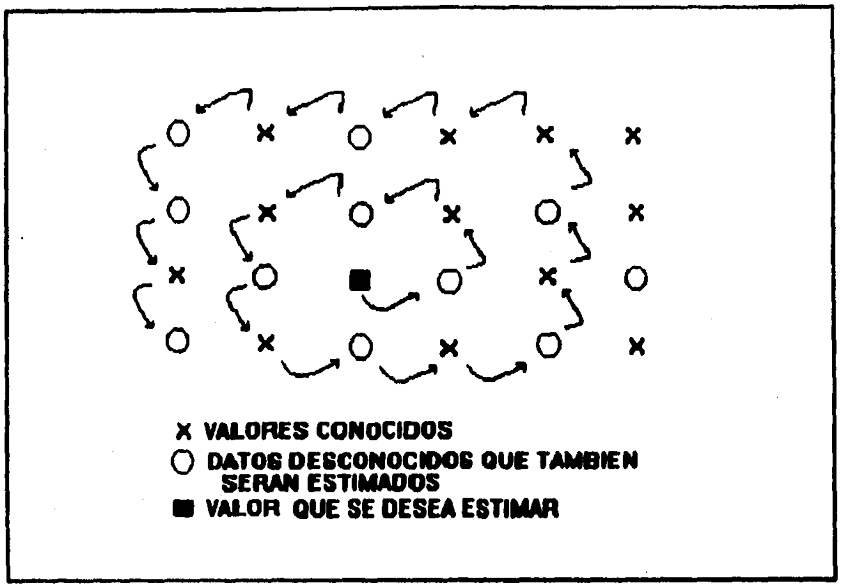
MATRIZ QUE MUESTRA LAS VARIABLES INICIALIZADAS (EL ARCHIVO DAT_MAP YA ESTA VACIADO SOBRE ELLA)

Con la información dispuesta de esta forma, el programa INTERP1.FOR se ubica en la posición (2,2) que corresponde al primer punto que potencialmente será estimado (la primera y última columna y el primero y último renglón no son tomadas en cuenta pues sirven sólo como frontera de la matriz) a partir de ahí se hace una búsqueda en forma de cruz, es decir, se busca, el primer valor disponible ($\neq 0$) hacia arriba, el primero hacia abajo, el primero hacia la izquierda y el primero hacia la derecha y se almacenan en variables auxiliares; simultaneamente a la identificación de un valor conocido se calcula la distancia a él. Estos números nos permiten poder calcular el inverso de las distancias al cuadrado, la suma de los cocientes entre los valores encontrados y las distancias al cuadrado y el cociente entre la suma anterior y la suma de los inversos de las distancias al cuadrado y todo ello nos permite estimar el valor para la variable (2,2). Posteriormente, pasamos a la posición (2,3) y repetimos el procedimiento y así sucesivamente hasta recorrer las *20x33* variables. Cuando en alguna "entrada" de la matriz existe un número $\neq 0$, esto es, un valor conocido, es ignorada y se pasa a la siguiente.

Esta forma de buscar información, pude ser, en muchos problemas generadora de resultados satisfactorios, sin embargo, para nuestros propósitos la exactitud es algo fundamental y es fácil descubrir configuraciones de datos en las que información relevante no es tomada en cuenta; necesitamos por lo tanto un algoritmo que, independientemente de la distribucion de la información sea capaz de capturar todos los puntos que circunden a la variable que se desea estimar. El segundo programa de interpolación INTERP2.FOR resuelve este problema contundentemente pues utiliza para la búsqueda un algoritmo que recorre la matriz en forma de espiral alrededor de una casilla específica.



■ VALOR QUE SE DESEA ESTIMAR
X VALORES CONOCIDOS
O DATOS DESCONOCIDOS QUE TAMBIEN SERAN ESTIMADOS



Con la búsqueda en espiral, encontramos nueve valores conocidos, mientras que con el algoritmo de cruz sólo dos.

Aparentemente, la diferencia entre ambos programas es mínima, sin embargo, es fundamental y muy significativa para la exactitud de las estimaciones; el primero, sabemos, realiza una búsqueda en forma de cruz, esto es, a partir de la localización del punto que se desea conocer se identifican a lo más 4 puntos, mientras que en el segundo, la búsqueda es más eficiente puesto que se "mira" en todas direcciones evitando así que información valiosa sea ignorada.

Además, con el algoritmo de búsqueda en espiral es posible establecer de alguna forma "radios de interés" que para nuestro caso quedarán definidos de la siguiente forma: cuando la localización del valor a estimar corresponde a latitudes y longitudes muy grandes o muy pequeñas (renglones y columnas $\leq$ 5 o renglones $\geq$ 15 y columnas $\geq$ 28) se propone un "radio grande" (valor mayor de un contador que se traduce en obtener aproximadamente 5 valores conocidos, alrededor del punto en cuestión) y cuando la localización nos conduce a una posición intermedia el radio de búsqueda se hace más pequeño sin que exista una disminución en el número de puntos circundantes encontrados. Naturalmente, se pueden definir más rangos para radios de búsqueda y precisar sus dimensiones con mayor claridad.

Es importante aclarar que para estimar una casilla de la matriz dentro del mismo algoritmo de búsqueda en espiral pueden establecerse diversas variantes, algunas son las siguientes:

- Utilizar toda la información cercana incluyendo también a los puntos que previamente hayan sido estimados.

- Omitir los valores que previamente fueron estimados obligando a que el algoritmo no tome en cuenta las casillas que se ubican en los renglones y columnas menores a los de la celda que en ese momento queremos estimar.

- Utilizar exclusivamente la información inicial.

Intuitivamente pareciera ser que la primera alternativa es la mejor y la segunda la menos favorable, no obstante numerosas pruebas nos han mostrado y tendremos oportunidad de descubrir que la mejor es la tercera alternativa.

Desde nuestro punto de vista, fundado no sólo en la intuición sino en los resultados obtenidos en varias de las pruebas y comparaciones realizadas, creemos que la búsqueda en espiral es mejor que la búsqueda en forma de cruz y por tanto es la que utilizaremos para el desarrollo ulterior de nuestra aplicación. Más adelante tendremos oportunidad de comparar resultados numéricos y gráficos obtenidos con ambos enfoques.

De esta forma, cada que el programa INTERP2.FOR estime un valor se lo asigna a su correspondiente entrada en la matriz y por tanto, después de ***20x33*** (menos a lo más 79 localidades correspondientes a los datos conocidos) repeticiones del código que selecciona variable, busca datos conocidos, realiza operaciones y asigna al arreglo bidimensional obtendremos una matriz completamente llena de valores estimados (menos a lo más 79 conocidos).

La representación de la información de esta manera compacta, puede desdoblarse y presentarse, por ejemplo, en forma de lista acompañada por datos adicionales que permitan identificar claramente la posición para cada valor estimado. Un resultado con estas características lo constituye el archivo PRO_INT el cual contiene ***20x33*** renglones y 3 columnas: ubicación geográfica (latitud y longitud) y valor estimado

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.8	18.0	19.0	18.0	18.0	19.8	18.0	18.0	18.8	18.8	19.2	19.4	19.6	26.0	21.6	22.7	23.4	24.0	24.0	24.0	24.0	22.3	26.8	19.0	19.0	19.0	16.0	19.0	26.8	22.0	23.0	27.0	27.0	27.0	0.0
0.0	19.6	18.0	18.0	18.0	19.0	18.0	18.0	18.4	18.2	19.8	19.7	18.9	26.2	21.0	22.7	26.0	24.2	24.1	24.7	24.8	23.0	21.7	19.8	19.0	16.0	16.0	19.9	21.1	22.9	23.9	27.0	27.0	27.0	0.0
8.8	16.0	19.0	19.0	19.0	20.4	20.9	20.4	18.9	26.5	20.8	20.4	26.3	26.9	26.8	21.9	22.7	24.4	24.6	24.7	24.9	23.3	22.1	26.2	16.0	16.0	18.0	20.3	22.4	23.9	24.8	27.0	27.0	27.0	0.0
0.0	18.0	19.0	18.0	18.0	20.4	20.8	19.6	19.1	26.1	26.7	26.3	20.0	20.5	21.1	22.2	23.2	25.2	25.8	25.6	26.7	24.5	23.9	21.8	20.4	20.2	20.4	22.1	23.4	24.8	27.0	27.0	27.0	27.0	0.0
0.0	18.8	18.0	18.0	18.8	20.7	20.8	15.3	19.6	20.3	21.3	20.2	19.9	21.4	21.6	22.7	23.8	25.3	25.7	25.8	25.7	24.8	24.3	23.2	22.1	22.2	22.7	23.3	24.1	25.1	26.6	26.8	26.8	27.0	0.0
0.9	19.0	18.0	19.0	18.0	21.8	22.4	21.7	21.9	26.1	23.7	18.9	17.0	23.7	22.2	22.4	23.3	24.9	25.7	26.0	26.6	26.3	24.7	24.0	23.6	23.7	23.8	23.9	24.3	26.3	26.7	27.0	26.9	27.0	0.0
0.0	18.9	19.3	20.3	26.5	23.3	24.4	24.8	26.8	30.0	26.3	21.7	20.3	21.9	22.0	22.7	23.6	25.0	25.7	20.5	26.3	24.6	24.5	24.3	24.5	24.7	24.9	24.4	24.3	25.0	26.2	26.7	26.6	27.0	0.0
0.0	26.1	26.9	22.8	22.1	24.3	26.3	25.9	26.4	27.3	26.6	23.2	22.1	21.7	21.4	22.0	23.1	24.4	26.6	24.8	23.8	23.3	23.7	23.6	24.7	26.0	24.7	23.6	23.4	23.9	26.0	26.9	26.1	27.0	0.0
0.0	21.6	22.5	23.7	23.9	26.1	26.7	25.9	25.8	25.8	25.8	23.8	23.2	21.9	20.2	20.5	24.4	22.9	23.3	24.0	22.7	22.0	22.7	23.4	24.6	24.8	24.5	23.6	23.0	23.4	24.1	26.0	26.5	27.0	0.0
0.0	28.0	26.0	28.0	28.0	26.1	20.3	26.4	26.9	26.7	20.7	24.8	24.3	23.7	19.6	16.4	19.8	19.8	20.1	21.1	21.4	21.3	22.8	22.8	23.4	23.9	24.3	23.6	23.3	23.8	23.9	24.3	24.8	25.8	0.0
0.0	20.2	26.4	25.9	26.9	28.0	26.0	28.1	26.0	28.0	26.3	26.2	26.3	27.0	21.7	19.2	17.3	19.6	16.7	19.1	26.0	21.0	22.4	22.4	22.3	22.8	24.4	23.7	23.4	23.4	23.4	23.8	23.4	23.6	0.0
0.0	25.0	26.1	26.3	26.7	26.9	26.8	25.7	26.7	28.0	28.2	24.6	24.1	23.4	20.4	18.4	18.9	11.6	14.8	12.9	18.1	26.6	27.2	23.3	22.3	22.7	24.9	24.4	24.2	24.1	24.6	24.2	24.4	24.8	0.0
0.0	26.6	26.3	26.1	26.2	25.4	26.8	26.6	26.7	26.2	28.3	24.3	22.8	20.9	16.4	19.9	16.4	12.0	12.4	26.0	18.7	18.9	20.2	21.2	21.9	22.8	26.0	24.8	34.2	24.0	24.0	24.2	24.6	26.0	0.0
0.0	26.6	26.2	24.7	24.4	24.9	26.3	26.6	26.8	26.2	26.3	24.2	22.2	20.3	18.8	18.2	17.4	15.4	14.8	16.6	14.5	11.0	18.6	21.2	22.1	22.8	24.3	23.8	20.6	23.6	23.9	24.2	24.6	25.2	0.0
0.0	25.8	25.6	24.9	24.0	24.6	26.3	25.6	26.2	26.3	26.4	24.8	22.3	20.4	21.1	26.1	16.5	15.9	13.2	14.6	12.7	11.8	17.5	26.2	23.3	24.3	24.5	23.9	21.0	23.3	24.2	20.9	25.7	26.8	0.0
0.0	26.5	26.8	25.5	24.8	24.8	26.5	26.1	26.3	26.3	26.3	24.9	22.3	20.4	20.3	20.4	19.0	19.3	18.4	18.8	18.8	15.4	18.0	21.8	23.7	26.5	24.4	22.9	21.9	23.8	20.3	27.8	26.5	26.2	0.0
0.0	26.5	27.0	26.8	26.5	25.4	26.7	26.0	26.2	26.3	26.2	26.1	22.7	21.3	26.2	19.8	18.8	17.4	17.2	16.2	18.0	18.4	18.8	20.7	22.8	23.7	22.3	20.3	21.2	22.0	24.8	20.2	20.0	26.2	0.0
0.0	20.7	26.5	26.5	28.0	25.7	25.9	26.5	26.0	26.3	26.2	26.9	23.7	23.8	22.6	21.7	20.2	18.7	18.6	21.0	25.9	21.3	26.0	26.8	21.9	22.1	22.9	19.2	18.9	22.0	23.8	24.5	24.8	20.0	0.0
0.0	26.8	26.5	26.3	28.1	25.6	20.9	26.5	25.8	26.3	26.2	26.8	25.8	25.3	25.2	24.3	21.8	26.2	26.2	21.3	22.8	21.7	21.0	21.2	21.8	21.8	21.7	20.9	21.1	21.8	22.9	23.5	24.0	25.5	0.0
0.0	20.3	26.3	20.2	26.8	26.7	20.8	26.3	26.3	26.3	26.1	26.1	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	24.9	23.4	23.0	23.2	23.3	23.2	22.4	22.2	22.1	22.4	23.3	22.5	22.2	22.9	22.8	23.3	26.2	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	0.8	0.0	0.8	0.8	0.0	0.8	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	6.0	8.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

MATRIZ QUE MUESTRA EL EMPLAZAMIENTO, DISTRIBUCION Y VALORES
DE LAS VARIABLES ESTIMADAS

A continuación mostramos, con intenciones ilustrativas exclusivamente pues sus dimensiones son muy considerables, una parte del archivo pro_int.

LAT.	LON	DATO
33	118	18.0
33	117	18.0
33	116	18.0
33	115	18.0
33	114	18.0
33	113	18.0
33	112	18.0
33	111	18.0
33	110	18.8
33	109	19.0
33	108	19.2
33	107	18.4
33	109	19.8
33	106	20.0
33	104	21.9
33	103	22.7
33	102	23.4
33	101	24.0
33	100	24.0
33	99	24.0
33	98	24.0
33	97	22.3
33	96	26.9
33	96	19.0
33	94	19.0
33	93	19.0
33	92	19.0
33	91	18.0
33	90	20.9
33	89	22.0
33	88	23.0
33	87	27.0
33	86	27.0
32	119	27.8
32	117	0.0
32	116	18.0
32	115	18.0
32	114	18.0
32	113	18.0
32	112	18.0
32	111	18.0
32	110	18.0
32	109	18.4
32	108	19.2
32	107	18.9
32	106	18.7
32	105	18.9
32	104	20.2
32	103	21.0
32	102	22.2
32	101	23.0
32	100	24.2
32	99	24.1
32	98	24.2
32	97	24.9

Dentro del escenario del ejemplo planteado, estos números representan la precipitación pronosticada para los puntos ubicados en las intersecciones de 5 en 5 grados de latitud y longitud, sin embargo, aunque nos encontramos cerca, este no es el objetivo final al que pretendemos arrivar, pues carecemos de información precisa en el interior de las regiones determinadas por la intersecciones, y no se olvide que lo que nuestras necesidades reclaman es la determinación, lo más exacta posible, de información en cualquier punto de la República Mexicana.

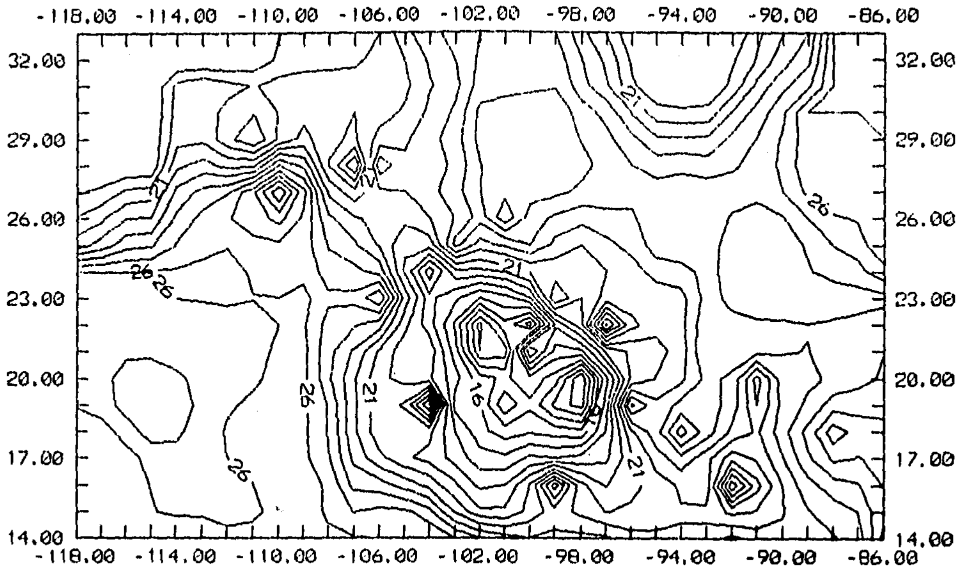
A partir de esta etapa, se puede avanzar por algunas lineas regidas por directrices de índole muy diverso, nosotros, con la intención de simplificar el problema, seguiremos una opción muy rápida y segura, aunque lo confiable debido a su exactitud es algo cuestionable que queda abierto y que se abordará posteriomente.

Así pues, la siguiente etapa a desarrollar, dentro de esta segunda alternativa global en la que estamos inmersos, consiste de la utilización de un programa comercial de uso específico (SURFER) el cual en términos generales está diseñado para lo siguiente:

A partir de un conjunto discreto de datos distribuidos irregularmente que pueden ser capturados directamente en él o ser importados (archivos con extensión .DAT) el programa construye una malla, con dimensiones establecidas por el usuario, en la que los datos desconocidos son estimados por alguno de 3 métodos con que cuenta: Inverso de las distancias, Kriging, Curvaturas Mínimas (no conocemos con precisión la fundamentación teórica subyacente a este último) como resultado de este proceso se obtiene un archivo con extensión .GRD que representa la malla completa con datos estimados.

El archivo GRD puede ser pasado, cuando menos, por dos procedimientos de gran importancia: el primero utilizando la información traza las curvas de nivel (isolineas) mientras que el segundo construye directamente la superficie.

Nosotros aquí utilizaremos Surfer solamente como un "trazador", es decir, no explotaremos la facilidad que tiene para interpolar datos, sino que le pasaramos ya la información interpolada que el programa INTERP2.FOR produce, para ello es indispensable que la salida del programa tenga un formato de matriz con algunos encabezados que le indiquen a SURFER que se trata de un archivo .GRD y que le indiquen además el tamaño de la malla y los mínimos y máximos en X,Y y Z, lo cual se consigue utilizando como archivo de entrada a PRO_INT para el programa DOGRD.FOR; todo lo anterior debido a que nuestro objetivo en este momento es la obtención de isolineas a partir de los resultados proporcionados por INTERP2.FOR, y el archivo de resultados, PRO_INT, es una colección discreta de *20x33* datos con la que, claramente, no es posible dibujarlas. No obstante, siguiendo este procedimiento, finalmente será posible entrar a las opciones de trazado de isolineas que nos permitan conocer información en cualquier punto que se desee, lo cual de alguna u otra forma puede pensarse como un pronóstico.



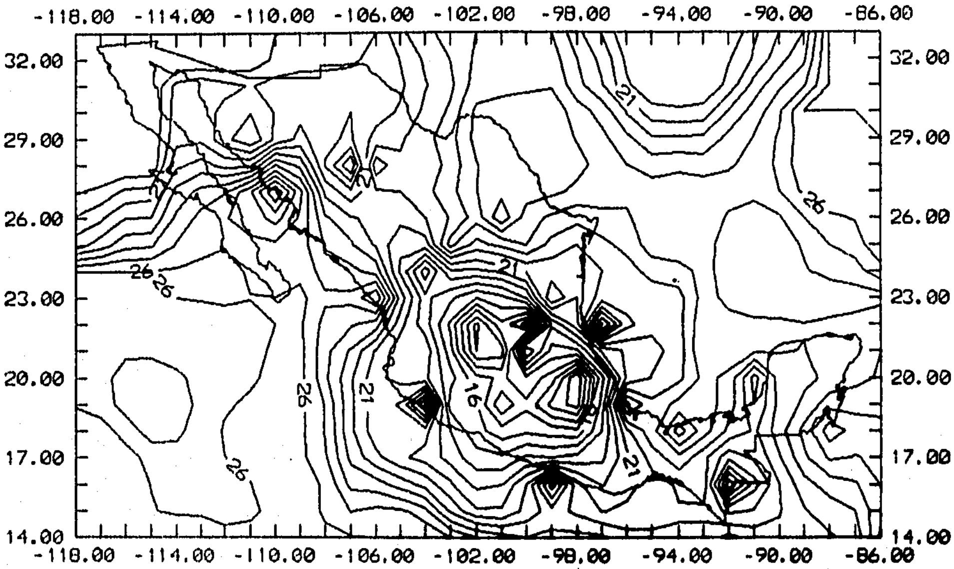
Lo más importante a resaltar desde nuestro punto de vista es que los valores interpolados (pag. 68) son "razonablemente congruentes" con la naturaleza de la información inicial, la cual, debido a que así se diseño el programa, jamás se pierde y eso para la aplicación que estamos desarrollando es algo fundamental, en otras palabras, notemos que no sólo las estimaciones obtenidas son consistentes sino que además su emplazamiento o ubicación geográfica también es bastante convincente.

Su interpretación, por otro lado, es algo en lo que no haremos mucho énfasis, pues además de que ya se bosquejó una explicación, es algo mecánico y fácilmente comprensible. Observemos sólo lo siguiene:

La primera casilla que se estimó de la matriz (pag. 64) es la (2,2), que le llamamos (1,1) para simplificar pues los renglones y columnas de la frontera (renglones 1 y 22, columnas 1 y 35) son utilizados como puntos de referencia que nos indican hacia donde ya no existen datos, y para ella no existen datos disponibles en cientos de kilómetros, la estación más cercana (isla Guadalupe) se encuentra a 4 grados de latitud sur (aproximadamente 450 Km.) y la siguiente más próxima a más de 1200 Km. de distancia, sin embargo, el algoritmo implementado en el programa de interpolación le asigna el mismo valor que reportó isla Guadalupe y en este caso creemos, esto representa un acierto.

En alguna otra región, matriz (6,15) por ejemplo, donde tenemos cerca varias estaciones obtendremos también una estimación bastante convincente.

De esta forma, como respuesta al planteamiento original, proporcionamos dos herramientas (el mapa como interpretación gráfica de la matriz) mediante las cuales es posible dilucidar plenamente todas las interrogantes establecidas inicialmente.



TERCERA FASE

Esta fase tiene como objetivo, independientemente del pronóstico, servir como punto de comparación entre los resultados obtenidos con la segunda alternativa y los resultados que se consiguen con un programa especializado trabajando solo en un 100% , contempla las siguientes etapas:

El archivo DAT_MAP (con un máximo de 79 datos) generado por DECODI. FOR es importado por Surfer, se utilizan exactamente las mismas alternativas para el proceso de interpolación (el mismo método, el mismo tamaño de la malla e igual espaciamiento entre sus lineas, igual exponente para los reciprocos de las distancias, un radio de búsqueda que se aproxime a los que utilizamos en INTERP2.FOR, una cantidad de puntos dentro de ese radio que en promedio sea la misma que la que se encuentra con el programa de interpolación, etc.) como resultado se obtiene el archivo DAT_MAP.GRD el cual contendría 660 datos, hay forma de verlos y resulta interesante compararlos con PRO_INT.

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.8	19.0	18.2	18.4	18.8	20.0	21.8	22.7	23.4	24.0	24.0	24.0	24.0	22.8	20.9	19.0	19.9	19.0	19.0	19.0	20.0	22.0	23.8	27.8	27.0	27.0	0.0
0.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	19.0	18.4	18.2	18.8	18.7	19.8	20.2	21.0	22.2	23.0	24.2	24.1	24.2	24.8	23.0	21.7	19.0	19.8	19.8	19.0	19.0	21.1	22.0	23.8	27.0	27.8	27.0	0.0
0.0	18.0	18.0	18.0	18.0	23.4	20.8	20.4	18.8	20.6	20.8	20.4	20.2	20.8	20.8	21.8	22.7	24.4	24.8	24.7	24.0	23.0	22.1	20.2	19.0	19.0	19.0	20.8	22.8	23.8	24.0	27.0	27.0	27.0	0.0
0.0	18.0	18.0	18.0	18.0	20.4	20.8	18.8	18.1	20.1	20.7	20.3	20.0	20.8	21.1	20.2	23.2	28.2	20.8	25.0	23.7	24.6	23.6	21.9	20.8	20.2	20.4	22.1	23.6	24.0	27.0	27.0	27.0	27.0	0.8
0.0	18.0	18.0	18.0	18.0	20.7	20.9	18.3	18.0	20.3	21.3	20.2	18.0	21.4	21.8	22.7	23.8	25.8	26.7	25.0	26.7	20.0	24.8	23.2	22.1	22.2	22.2	23.8	24.1	25.1	26.6	26.0	26.8	27.0	0.0
0.0	18.0	18.0	18.0	18.0	21.8	22.4	21.7	21.8	25.1	23.7	18.8	17.0	23.7	22.2	22.4	23.3	24.8	26.7	26.0	26.0	26.8	24.7	24.0	23.0	23.7	23.0	23.0	24.8	25.3	26.7	27.0	26.0	27.0	0.0
0.0	18.9	18.3	20.2	20.8	23.3	24.4	24.0	26.8	30.0	28.2	21.7	20.3	21.0	22.0	22.7	23.8	26.0	26.7	26.6	26.3	24.0	24.0	24.8	24.6	24.7	24.0	24.4	24.8	26.0	26.2	26.7	26.9	27.0	0.0
0.0	20.1	20.8	22.0	22.1	24.8	20.3	25.9	25.4	27.3	26.8	25.2	25.1	21.7	21.4	22.8	23.1	24.4	26.8	24.0	23.0	26.3	23.7	23.0	24.7	26.0	24.7	23.0	23.4	23.0	26.0	26.0	26.1	27.0	0.8
0.0	21.6	26.0	23.7	23.0	25.1	20.7	20.8	25.9	20.8	26.9	23.0	23.2	21.9	20.2	20.0	24.4	22.0	23.8	24.0	22.7	22.0	22.7	23.4	24.8	24.0	24.0	23.0	22.0	23.8	26.1	26.0	26.8	27.8	0.0
0.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.1	20.3	20.4	20.9	20.7	25.7	24.6	24.3	23.7	19.8	18.4	18.0	19.8	20.1	21.1	21.8	21.8	22.0	22.6	23.4	23.0	24.2	23.0	23.8	23.0	23.0	24.3	24.0	26.0	0.0
0.0	26.2	26.4	25.8	25.8	26.0	28.0	25.1	28.0	26.0	28.2	26.2	26.2	27.0	21.7	16.2	17.2	18.0	18.7	18.1	22.0	21.0	20.4	23.4	20.8	22.0	24.8	20.7	23.6	23.4	23.6	23.6	22.4	23.0	0.0
0.0	25.0	20.1	26.3	25.7	25.8	25.6	25.7	20.7	26.0	26.2	24.8	24.1	23.4	20.4	18.4	18.0	11.9	14.0	12.0	16.1	20.8	27.3	20.3	20.3	22.7	24.8	24.6	24.3	24.1	24.0	24.2	24.4	24.8	0.0
0.0	25.8	25.3	25.1	26.2	25.4	26.0	26.8	25.7	26.2	26.3	24.2	22.0	20.8	18.4	18.0	18.4	12.0	12.4	20.0	16.7	18.6	20.3	21.7	21.8	22.0	25.0	24.3	24.3	24.0	24.0	24.2	24.0	25.8	0.0
0.0	26.8	26.2	24.7	24.4	24.0	26.3	26.6	25.8	26.2	26.3	24.2	22.2	20.8	18.0	19.2	17.4	18.4	14.8	10.0	14.0	11.8	10.0	11.2	20.1	23.8	24.3	23.8	20.0	20.0	23.0	24.2	24.0	26.2	0.0
0.0	26.9	25.8	24.8	24.0	24.0	26.8	26.0	26.2	26.3	26.4	24.0	22.3	20.4	21.1	20.1	18.6	18.9	13.2	14.0	12.7	11.0	17.0	20.2	20.2	24.6	24.0	20.0	21.0	20.8	24.2	26.0	26.7	25.0	0.0
0.0	26.8	26.8	26.8	24.8	24.6	25.8	26.1	26.3	20.8	26.5	24.0	22.3	20.4	20.8	20.6	14.0	18.6	16.4	18.0	18.0	18.4	18.0	21.0	20.7	20.6	24.0	20.8	21.6	20.0	20.2	27.0	26.0	26.2	0.0
0.0	26.6	27.0	26.5	25.8	26.4	26.7	26.0	26.7	26.2	26.2	26.1	22.7	21.3	20.2	18.0	18.0	17.4	17.2	18.2	18.0	18.4	18.0	20.7	20.0	20.7	22.0	20.0	21.3	22.0	20.0	20.2	20.0	20.2	0.0
0.0	26.7	26.8	26.5	26.0	26.7	26.8	25.9	26.0	26.3	26.2	26.0	25.7	26.8	22.0	21.7	20.2	18.7	18.0	21.0	20.0	21.8	20.0	20.8	21.0	22.1	20.8	18.2	19.0	22.0	20.0	24.0	24.0	20.8	0.0
0.0	26.9	26.6	26.3	26.1	25.9	26.8	26.1	26.8	26.3	26.2	26.9	26.8	20.8	26.2	24.8	21.9	20.2	20.2	21.2	22.0	21.7	21.8	21.3	21.8	21.8	21.7	20.8	21.1	21.0	22.8	20.2	24.0	20.0	0.0
0.0	26.3	26.3	26.2	25.8	26.7	27.8	26.2	28.3	20.3	26.1	26.1	26.0	28.0	26.0	26.0	28.0	24.0	23.4	22.0	23.3	23.3	23.7	22.4	20.3	22.1	22.8	22.3	20.0	22.2	23.0	22.0	22.0	20.3	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

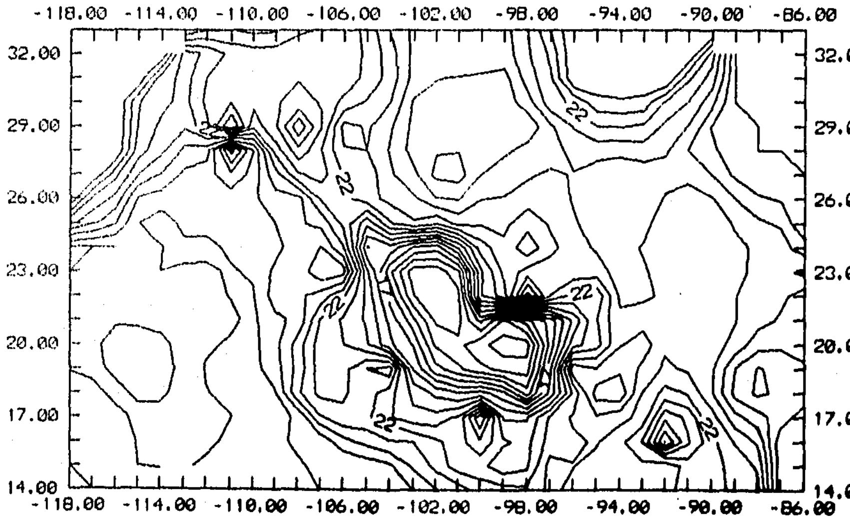
REPRESENTACION MATRICIAL DE LA INFORMACION PRODUCIDA POR INTERP2.FOR (PRO_INT), UTILIZANDO EL ARCHIVO DAT_MAP.

08	00	80	08	09	00	00	89	00	08	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	80	00	80	00	00	00	0.0	00	80	0.0	00
80	180	180	189	190	199	180	189	191	189	197	281	207	203	223	228	243	241	240	241	243	273	209	190	198	188	190	190	190	190	238	27.0	27.9	27.0	8.0
9.0	190	189	180	180	180	22.7	219	287	207	284	199	202	284	212	235	246	243	247	243	246	231	207	190	190	190	190	188	190	228	27.0	27.0	270	27.0	08
80	180	189	198	189	230	228	21.1	209	207	283	280	281	286	218	228	251	252	252	252	250	233	220	190	190	189	190	190	219	339	270	270	270	27.0	00
99	190	108	180	215	232	228	218	28.3	20.8	201	108	21.2	215	220	244	254	256	258	257	255	238	220	207	204	282	204	221	230	24.7	279	27.0	270	27.0	00
8.8	180	188	188	218	237	23.8	21.8	18.0	21.3	19.7	179	237	22.8	225	243	258	258	200	258	258	25.7	234	220	220	228	222	233	241	281	268	27.0	27.8	27.0	08
89	190	189	18.0	224	246	248	25.7	300	249	211	199	213	214	223	241	252	258	250	253	248	247	242	233	238	237	235	239	258	256	267	270	27.0	270	00
08	18.0	180	219	252	282	28.5	259	267	251	238	221	214	215	222	237	252	289	253	246	242	239	248	248	248	248	246	244	243	280	282	28.7	288	270	0.0
0.8	168	222	260	289	25.5	25.7	288	25.5	252	246	22.7	221	207	211	24.4	23.6	252	240	239	236	238	246	245	249	250	247	239	234	239	250	29.8	281	270	00
08	280	28.0	268	259	288	28.7	28.7	25.7	254	249	246	24.8	281	184	20.2	21.5	228	224	221	219	224	241	248	247	249	243	234	230	23.4	24.1	248	285	270	09
90	28.8	260	260	260	288	28.2	28.1	288	26.3	25.2	28.8	270	22.6	186	18.1	138	152	182	230	210	233	245	238	238	246	238	23.4	232	238	238	24.3	248	27.8	0.0
00	260	25.4	258	258	28.0	25.8	258	268	281	248	248	248	21.0	18.2	14.4	118	179	126	194	224	27.2	231	240	24.4	238	241	238	239	238	248	24.2	248	238	0.0
89	250	25.1	25.3	288	258	288	258	25.1	282	252	238	22.2	207	198	10.8	120	124	15.2	200	163	194	204	201	238	235	242	241	239	238	242	248	288	289	0.0
0.9	28.8	253	25.1	282	253	258	286	259	28.3	281	234	21.5	212	18.7	17.4	14.4	130	14.4	135	111	140	198	21.8	228	237	228	240	238	238	24.3	28.1	283	289	08
06	28.8	282	24.7	249	248	25.3	258	28.2	283	253	23.4	216	218	28.1	108	158	132	133	177	115	161	210	213	242	244	231	234	233	24.2	288	281	258	28.2	0.0
90	258	285	248	240	240	284	28.1	28.3	283	28.1	223	21.8	21.1	211	185	103	144	154	153	130	184	20.3	232	289	240	223	22.3	230	28.4	278	288	282	28.4	00
0.0	288	28.8	258	248	24.8	254	259	282	28.3	28.1	23.7	218	214	197	19.5	17.4	17.4	155	180	194	18.3	20.8	237	238	220	198	207	22.7	248	28.4	28.8	282	27.8	60
89	289	27.8	285	286	28.3	25.5	25.7	258	28.3	283	289	236	22.2	208	201	185	191	214	255	214	204	235	224	222	228	182	160	218	238	24.8	28.2	27.8	27.8	0.0
00	28.7	288	288	288	28.7	28.7	25.5	283	283	28.2	28.1	287	24.3	243	229	213	214	21.3	228	214	208	224	218	218	218	208	207	218	228	238	27.8	27.6	27.8	0.0
8.0	27.8	288	283	280	28.7	258	253	28.3	28.3	281	288	288	280	280	260	249	238	236	232	230	22.7	233	228	221	224	233	222	218	222	228	27.8	278	27.8	0.8
8.0	27.8	27.0	27.0	27.8	27.8	288	283	283	283	28.0	280	280	280	28.8	280	259	242	238	226	227	228	239	218	217	222	228	222	218	208	23.3	233	233	282	0.0
00	80	00	00	0.8	89	00	00	00	0.0	00	80	80	00	00	60	00	08	00	00	00	00	00	00	00	80	08	00	80	0.8	89	00	00	90	68

REPRESENTACION MATRICIAL DE LA INFORMACION PRODUCIDA POR SURFER (DAT_MAP.GRD) UTILIZANDO EL ARCHIVO DAT_MAP

Para el trazo de isolineas pasamos a los menús correspondientes utilizando como archivo de entrada a DAT_MAP.GRD.

Finalmente, para poder hacer una comparación gráfica entre ambos mapas de isolineas pasamos a las opciones de impresión; utilizando el archivo DAT_MAP.GRD se genera el archivo DAT_MAP.PLT que es el que se imprime. Este resultado final recibe el nombre de carta de superficie y es la que se muestra a continuación.



ANALISIS

A simple vista, una comparación entre ambas matrices (la producida por INTERP2.FOR y la generada por SURFER) y ambos mapas de isolineas nos proporciona resultados muy satisfactorios pues existe una "compatibilidad inmediata" en los trazos de los mapas y en los valores de las matrices. Para hacer más evidente esta "semejanza" como primera instancia podriamos recurrir a una inspección visual más detallada a través de la cual nos fuera posible descubrir lo análogo en la forma de los contornos de subregiones delimitadas por varios pares de coordenadas.

Sin embargo, no hay que olvidar que un corrimiento de estos núcleos de isolineas en a los más un grado y hacia la izquierda se debe al truncamiento que en la SEGUNDA ALTERNATIVA se hace del valor de las coordenadas geográficas para poder referenciarlas en un arreglo bidimensional junto con la información conocida.

Es claro, según hemos aprendido, que una interpretación geométrica no es suficiente como argumento formal sobre el cual puedan erigirse nuevas ideas, es indispensable una justificación más seria en la que lo geométrico no juegue un papel central.

Para ello haremos un análisis de los datos estimados utilizando su representación matricial. Consideraremos cada una de las casillas en ambas matrices y calcularemos el valor absoluto de las diferencias de una con su correspondiente análoga y de esta forma obtendremos *20x33* nuevos numeros que nos indicarán las variaciones que cada una de las variables de una matriz guarda con sus equivalentes en la otra, y, posteriormente, promediaremos tales diferencias a fin de conocer la naturaleza de la tendencia central. Por ejemplo:

	CASILLAS		
	(2,2),...,	(12,17),...	(20,31)
Matriz generada por INTERP2.FOR	18.0	17.3	22.9
Matriz generada por SURFER	18.0	11.8	22.8
DIFERENCIAS	0.0	5.5	0.1

lo cual nos genera la siguiene tabla:

00	00	00	00	00	00	0.0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	0.0	00	00	00	00	00	00	00	0.0	0.0	00	00	0.0	0.0	00	0.0	00	0.0
0.0	00	00	00	0.0	0.0	0.0	0.8	0.2	0.3	0.4	0.5	05	02	04	04	08	01	0.0	0.1	0.3	07	0.0	0.0	00	0.0	00	0.0	18	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	00	00	00	00	00	48	37	24	13	10	06	01	01	02	03	13	0.1	01	01	01	0.1	01	0.8	00	00	00	0.9	21	0.0	3.2	00	0.0	0.0	0.0
00	00	00	00	00	12	14	06	08	02	04	04	00	01	05	06	16	05	05	05	04	01	00	1.2	00	00	00	13	05	02	22	00	00	00	00
0.0	00	00	00	29	1.3	17	12	10	08	06	05	00	08	10	0.7	20	02	01	00	01	01	13	01	00	00	00	00	04	00	0.0	00	00	0.0	00
00	00	00	00	31	15	2.0	18	00	14	13	30	01	20	10	12	18	04	02	01	00	08	01	03	01	02	00	00	00	10	00	0.2	02	0.0	00
0.0	00	00	00	3.5	0.9	18	28	75	09	2.2	07	30	08	08	17	2.2	10	03	02	07	06	0.1	05	0.1	00	00	00	07	05	00	00	0.2	00	0.0
0.0	09	13	0.4	2.4	0.7	08	0.7	00	44	30	06	03	02	04	1.1	12	13	08	05	07	07	08	0.2	00	01	00	00	00	0.0	00	00	0.0	00	0.0
0.0	21	03	03	30	1.1	02	01	10	22	1.4	12	0.3	0.0	13	1.3	07	05	18	06	01	01	02	0.3	0.1	00	0.1	00	00	00	00	00	0.0	00	0.0
0.0	02	02	02	20	1.4	00	02	00	00	05	02	05	0.2	09	14	1.5	05	00	08	0.5	04	04	0.5	01	00	0.1	01	0.0	00	00	0.2	03	00	0.0
00	00	00	00	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	01	05	01	07	08	29	12	4.0	44	21	04	14	00	08	1.0	07	07	04	0.2	01	0.0	01	0.2	0.0	0.1	0.0
0.0	08	00	00	00	00	0.1	0.2	00	01	1.5	1.0	06	1.5	2.4	2.9	50	37	31	17	08	24	1.1	1.1	13	18	0.3	01	01	0.3	05	07	08	0.2	0.0
0.0	00	00	00	0.0	0.0	00	00	03	01	1.7	04	06	1.3	0.7	1.8	2.8	0.4	2.0	7.4	34	56	42	1.5	10	15	07	05	04	03	01	0.1	04	07	00
00	00	00	00	0.0	01	0.0	0.1	01	01	10	05	09	0.0	06	21	1.1	08	02	47	39	21	3.8	1.9	03	13	1.4	08	03	0.2	00	0.4	0.5	03	0.0
00	0.1	00	01	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	01	1.0	0.6	0.8	0.8	0.5	09	05	1.5	1.5	3.5	30	05	0.3	0.6	0.5	1.2	0.3	0.6	2.0	00	06	1.5	1.2	06	0.0
0.0	0.0	0.0	0.1	00	00	0.1	0.2	0.1	0.0	0.9	1.3	08	1.3	1.9	1.5	1.4	0.5	1.0	1.5	0.1	10	0.1	04	0.9	0.4	0.7	0.8	2.2	0.5	1.8	1.5	0.9	0.3	0.0
0.0	00	00	00	00	0.0	0.1	0.1	0.1	00	0.2	1.7	0.8	1.4	2.1	1.1	17	24	27	2.5	10	09	0.3	0.3	1.8	0.7	1.5	1.1	02	0.2	1.0	0.4	0.3	0.1	0.0
0.0	0.0	0.0	00	00	00	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.7	0.4	0.9	20	1.5	17	30	4.0	6.7	1.9	15	34	2.5	1.4	0.3	0.3	1.1	09	0.5	0.2	0.6	0.6	1.4	0.0
00	00	00	00	00	0.0	0.1	0.3	0.3	00	00	01	2.1	0.9	1.1	1.4	2.8	35	25	1.8	43	07	2.4	2.2	1.6	0.2	1.9	0.8	02	04	08	04	27	18	00
00	05	00	00	01	0.0	01	0.7	05	00	00	02	0.9	0.6	0.4	09	2.0	26	1.3	00	22	10	25	1.6	1.1	0.2	05	2.2	04	03	06	04	36	1.8	0.0
00	0.7	0.7	06	0.2	0.3	00	00	0.0	00	01	0.1	00	00	00	00	0.0	01	01	04	08	11	00	0.5	00	00	0.1	0.9	10	1.4	07	0.4	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	80	00	00	0.0	00	00	0.0	0.0	00	00	00	00	00	0.0	0.0	00	00	0.0	0.0	00	00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

VALOR PRMODEDIO DE LAS DIFERENCIAS	0.761
DIFERENCIA MAXIMA	7.546
DIFERENCIA MINIMA	0.0
NUMERO DE VECES QUE LA DIFERENCIA > 2	73
NUMERO DE VECES QUE LA DIFERENCIA > 3	30

Debemos de observar que este número es en realidad una aproximación muy general del comportamiento que tienen las estimaciones hechas en cada punto de la malla construida y que éste en última instancia, nada nos dice acerca de las variaciones obtenidas, pues la "función diferencia" que hemos construido tiene un comportamiento poco uniforme y adquiere valores muy extremos.

Notemos, sin embargo, que comparativamente son muy pocas las diferencias calculadas que sobrepasan las dos unidades (aproximadamente el 10%) lo cual de alguna forma podría constituirse como un argumento a favor del algoritmo implementado.

Según lineamientos establecidos por la Organizacación Meteorológica Mundial (OMM) un intervalo razonable para la ubicación del valor real es aquel que se construye dos unidades hacia abajo y dos unidades hacia arriba de él. Si seguimos este criterio encontraremos que la mayoría de las celdas de la tabla son adecuadas y si les asignamos sus coordenaas reales y las ubicamos sobre un mapa donde geográficamente les corresponde obtendremos que aproximadamente el 89% de la región inicial quedó pronosticada con valores aceptables.

Todo lo anterior, nos parece, constituye un resultado muy alentador pero que bien pudo haber sido producto de la casualidad; qué nos garantiza que nuestros resultados son consistentes con la realidad, cómo saber si nuestras estimaciones no presentan desviaciones bruscas de los valores verdaderos. ¿Bastará con formular un par de ejemplos similares, analizarlos y entonces concluir en función de lo obtenido de lo bondadoso o deficiente de nuestro método?, creemos que no, creemos que ni 5, ni 10, ni 20 ejemplos son suficientes para decidir si las ideas que desarrollamos son correctas o no, y aunque quizás para algún otro tipo de aplicación sí sería suficiente, el hecho es que aquí, debido a la distribución de los puntos conocidos (los observatorios no se mueven de lugar) no basta cualquier número de ejemplos pues los resultados serán siempre escencialmente los mismos que los que anteriormente hemos analizado, y por tanto, obtendriamos un punto de vista sesgado creyendo que nuestro algoritmo, programas, etc. invariablemente producen resultados con una cofiabilidad superior al 89%.

Ahora bien, no debemos de pasar por alto que estamos utilizando como "información patrón" los resultados de un programa que nada nos garantiza que esté bien construido, y así, es posible que nuestros resultados sean más correctos que en un 89% o, por otro lado, que ambos, nosotros y SURFER, estemos proporcionando estimaciones erroneas. Más adelante abordaremos algunos puntos que cuestionan la confiabilidad del programa SURFER, por ahora baste lo anterior como motivación de la discusión referente a la confiabilidad de nuestro trabajo y a las limitaciones del programa SURFER.

DISCUSION
(calibración del algotitmo)

En esta sección abordaremos, mediante el tratamiento de un par de argumentos, el problema de la confiabilidad no sólo de nuestro trabajo sino también del programa comercial SURFER.

creemos que las justificaciones que hemos esgrimido acerca de lo limitada que resulta ser la ayuda proporcionada por los ejemplos particulares en el intento de verificar la confiabilidad y calidad de nuestro trabajo han sido suficientes, por un lado, pero además, nos han incitado a la utilización de alternativas más formales.

Básicamente, la opción a desarrollar está constituida por 2 etapas en las que existe un incremento gradual en la complejidad del argumento empleado y por tanto una mayor seguridad para identificar los alcances de nuestro trabajo.

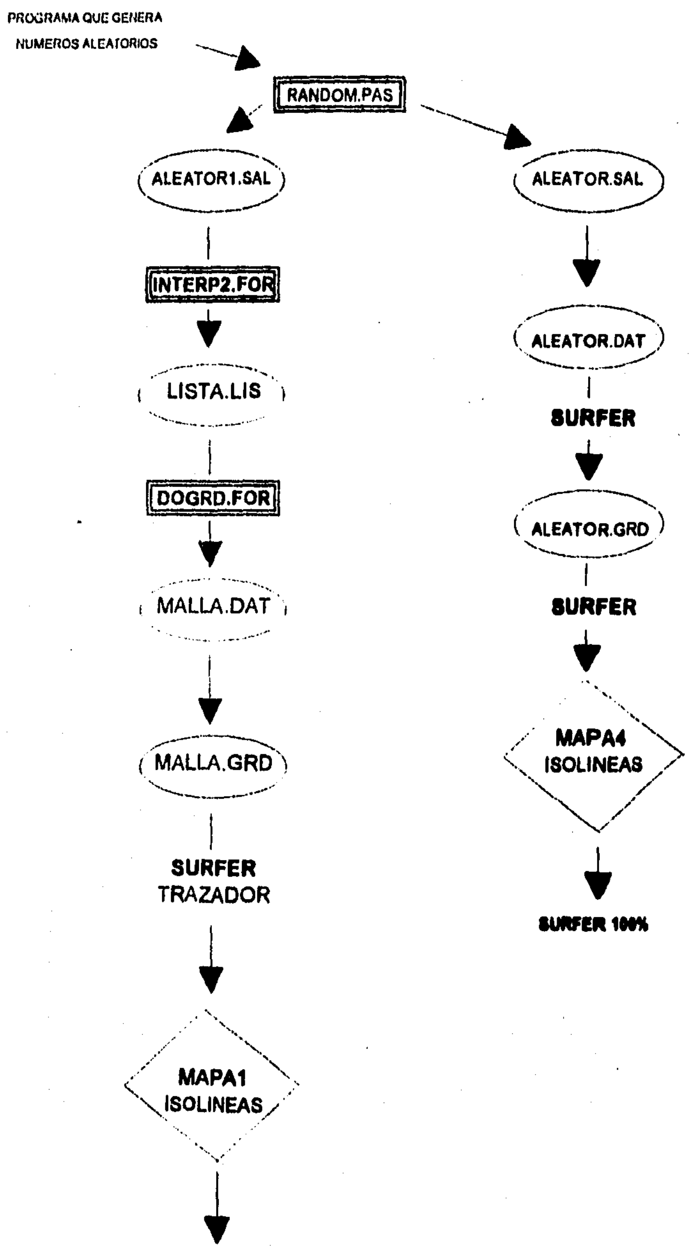
En la primera etapa tomaremos 3 funciones con un comportamiento perfectamente conocido (un paraboloide, un hiperboloide de dos ramas y un paraboloide hiperbólico) y utilizando los patrones base que hemos implementado, tamaño de la malla, algoritmo de interpolación, forma de búsqueda, etc., generaremos números aleatorios renglones ϵ [2,21], columnas ϵ [2,34], que nos permitan ubicar en forma imparcial, por ejemplo 80 puntos a partir de los cuales con ayuda del programa de interpolación INTERP2.FOR construiremos la malla de datos estimados con los que dibujaremos las curvas de nivel que nos ayudarán a decidir mediante la comparación con algo conocido y verdadero sobre lo bueno o erroneo de nuestro algoritmo y su ambiente.

Es decir, cuando trabajemos por ejemplo el conjunto de datos discretos de un paraboloide esperaremos, después del proceso de interpolación obtener circunferencias concéntricas, etc.

En caso de obtener resultados aceptables, para la segunda etapa emplearemos funciones cuyo comportamiento no es tan suave y regular como el de las 3 anteriores, dichas funciones serán extraídas del artículo "A Critical Comparison of Some Methods for Interpolation of Scattered Data" publicado por Richard Franke en 1979 y cuyo contenido se refiere precisamente a una serie de técnicas empleadas para poner a prueba la eficiencia de varios de los métodos de interpolación existentes hasta esa fecha, por tanto las funciones que se utilizarán serán funciones de un comportamiento complicado creadas justamente para "poner en jaque" a los métodos de interpolación y hacer evidentes sus limitaciones.

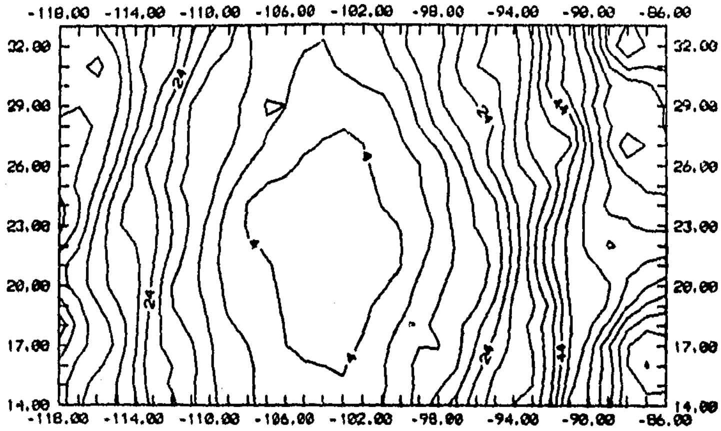
Sobra decir que, en caso de que nuestro algorítmo arroje buenos resultados en ambas etapas del proceso de prueba tendremos plena confianza para su uso y habremos sentado las bases para el desarrollo de aplicaciones que rebasarán por mucho la utilidad que a veces se encuentra en el empleo de los programas comerciales.

FLUJO DE LA INFORMACION UTILIZADA PARA LAS PRUEBAS DE EFICIENCIA DE NUESTRO ALGORITMO

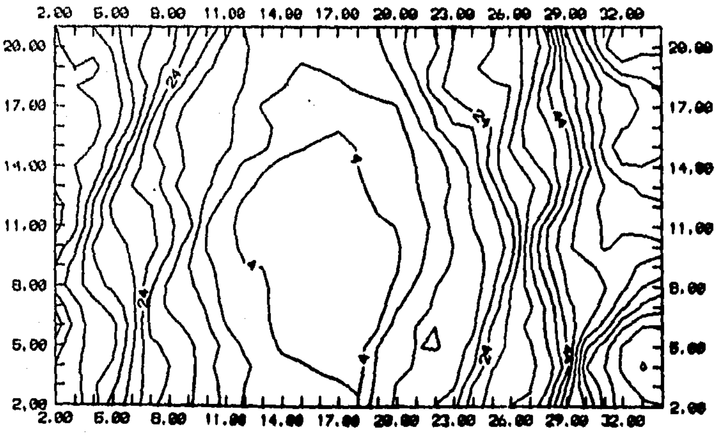


ETAPA 1

FUNCION 1: Paraboloide Elíptico: $Z = (X-16)^2/4 + (Y-10)^2/9$

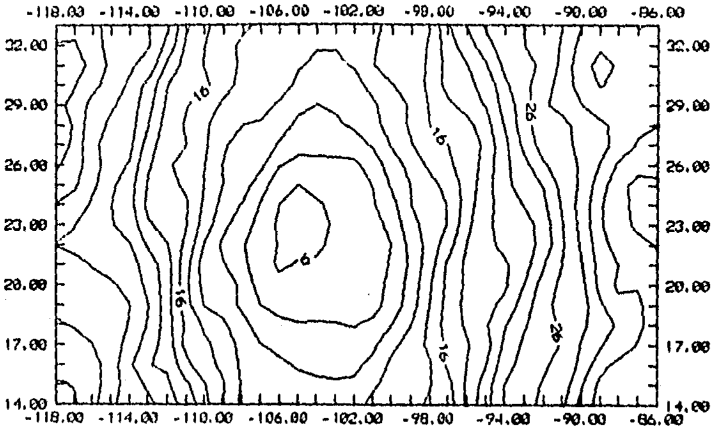


MAPA GENERADO A PARTIR DE LOS
DATOS INTERPOLADOS POR NUESTRO PROGRAMA

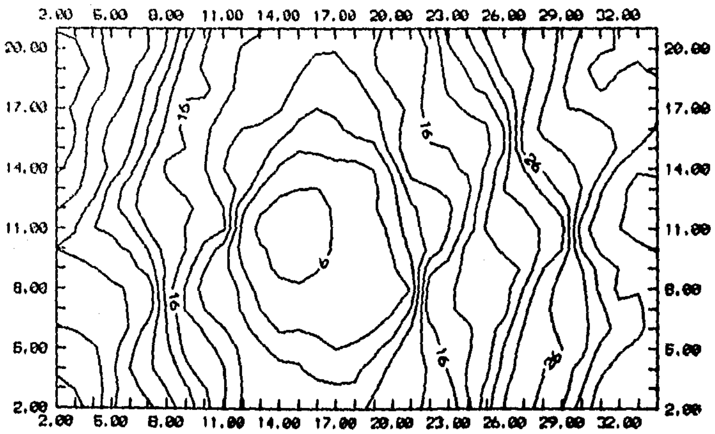


MAPA GENERADO A PARTIR
DE LAS ESTIMACIONES HECHAS POR SURFER

FUNCION 2: Elipsoide de 2 ramas: $Z = 4\ SQRT(1 + (X-16)^2 / 4 + (Y-10)^2 / 9)$

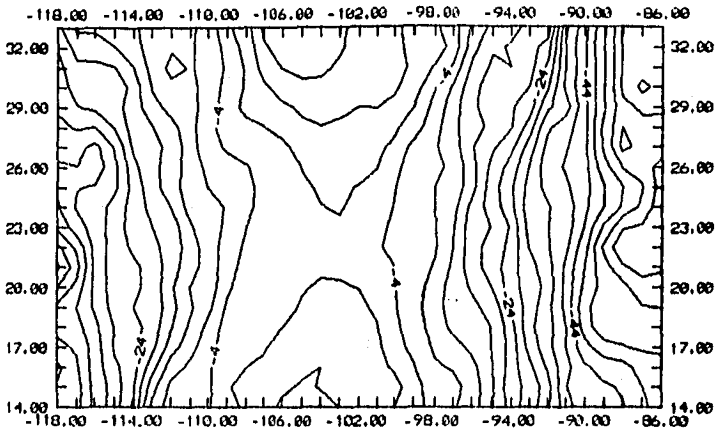


MAPA GENERADO A PARTIR DE LOS
DATOS INTERPOLADOS POR NUESTRO PROGRAMA

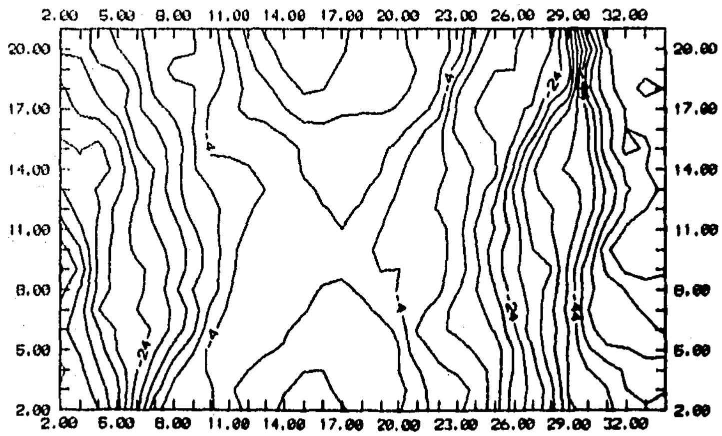


MAPA GENERADO A PARTIR
DE LAS ESTIMACIONES HECHAS POR SURFER

FUNCION 3: Paraboloide Hiperbólico : $Z = -(X-16)^2 / 4 + (Y-10)^2 / 9$



MAPA GENERADO A PARTIR DE LOS
DATOS INTERPOLADOS POR NUESTRO PROGRAMA



MAPA GENERADO A PARTIR
DE LAS ESTIMACIONES HECHAS POR SURFER

Si en los mapas anteriores nos limitamos a hacer un "análisis visual" concluiremos fácilmente que los resultados obtenidos en esta etapa de prueba son lo suficientemente adecuados como para, sin ninguna objeción, pasar al siguiente nivel en el proceso de calibración de nuestro algoritmo, sin embargo, pretendemos hacer más natural este avance y para ello observaremos también la naturaleza de las estimaciones numéricas que en cada uno de los 3 casos se han hecho. Consideremos por ejemplo la función número 2, con ella y a través de la metodología descrita en la sección denominada ANALISIS es posible obtener una tabla como la siguiente:

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.8	8.0	0.0	0.0	0.0	8.8	0.0	8.8	0.8	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	8.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.5	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.2	0.8	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.2	0.1	0.8	0.5	0.3	0.0
0.0	0.3	0.0	0.5	0.4	0.2	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.8	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.1	0.0	0.8	0.7	0.0
0.0	0.4	0.0	0.3	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.5	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.5	0.3	0.0	0.2	0.0	0.2	0.8	0.2	0.3	0.1	0.4	0.4	0.2	0.4	1.2	0.9	0.0
0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.8	0.8	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.4	0.1	0.7	0.0	0.0	0.5	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.5	0.0	0.1	1.0	0.9	0.8	0.5	0.0	0.0
0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.8	1.0	0.7	0.1	0.4	0.0	0.1	0.7	0.1	0.5	0.3	0.4	0.4	0.9	0.2	0.9	0.5	0.5	0.9	0.7	0.4	0.1	0.1	0.0	0.2	0.8	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	1.2	1.2	0.7	0.0	0.1	0.2	0.0	0.3	0.8	0.4	0.2	0.0	0.4	0.9	1.0	3.2	1.1	0.1	8.8	1.4	0.8	0.2	0.8	0.1	0.1	0.3	0.0	0.0	8.0
0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.4	2.0	1.8	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.4	1.1	2.8	3.4	1.3	0.2	0.0	0.5	0.1	0.5	0.0	8.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	1.1	0.4	0.9	0.5	0.5	0.2	0.8	0.3	0.2	0.1	0.2	0.0	0.5	1.1	2.3	8.5	0.3	0.0	0.8	1.0	0.2	0.1	0.1	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	1.2	0.7	1.5	1.3	1.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	8.4	0.2	1.0	0.2	0.0	0.8	8.5	1.7	1.7	1.3	0.5	0.3	0.0	0.0
0.0	0.2	0.0	0.9	0.4	0.8	0.5	0.1	0.1	1.8	3.6	1.4	1.7	8.5	8.0	8.4	0.8	0.1	0.0	0.8	0.2	0.0	8.1	0.4	0.3	8.0	0.7	0.4	2.5	2.8	1.7	0.5	0.0	0.1	8.8
0.0	0.2	0.2	0.8	1.3	2.8	0.8	0.0	0.2	1.7	2.8	1.4	1.8	0.5	0.0	0.3	0.2	0.2	0.1	0.4	8.4	8.0	0.4	8.8	0.5	0.0	0.2	8.3	1.8	8.4	1.8	0.3	0.8	0.2	8.8
0.0	0.0	0.0	0.8	1.1	1.9	0.7	0.2	0.0	0.8	0.9	0.8	8.9	0.4	0.0	0.5	8.4	8.0	8.4	1.8	0.9	0.5	8.3	1.4	0.3	8.5	8.0	8.3	8.8	8.3	8.7	8.2	0.0	8.1	0.0
0.0	0.2	0.0	0.4	0.8	0.7	0.7	0.4	0.0	0.1	0.0	0.4	0.4	0.5	8.8	0.5	0.2	0.4	0.8	0.7	2.2	8.9	0.0	0.5	8.5	0.1	0.5	0.8	8.0	8.1	0.5	0.1	8.3	8.1	8.0
0.0	0.0	0.3	0.5	0.0	0.4	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	8.7	0.7	0.5	0.0	0.1	0.8	0.8	1.4	8.4	0.0	0.5	1.1	1.5	1.8	0.5	1.4	0.8	0.1	8.8	0.2	0.5	0.0
0.0	0.0	0.2	8.4	0.0	0.1	0.0	0.8	0.4	0.2	0.1	0.0	0.1	0.3	0.2	0.8	0.2	0.3	0.2	8.4	0.7	0.3	8.0	0.4	1.5	2.2	1.8	0.8	2.3	0.0	0.2	0.1	8.8	0.2	8.0
0.0	0.1	0.3	0.7	0.2	0.2	0.5	0.7	0.0	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.2	8.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	0.8	0.4	0.5	1.3	1.4	0.6	0.5	0.8	0.1	0.0	0.1	0.5	8.1	0.6
0.0	0.2	0.2	0.4	0.5	0.3	8.2	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.8	0.3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	0.4	0.0	0.1	0.8	0.8	0.1	1.0	0.4	0.0	0.2	0.2	0.0	8.0
0.0	0.2	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.8	0.0	0.2	0.1	8.1	0.0	0.1	0.1	8.3	0.1	8.0	8.1	0.0	0.0	0.8	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	8.1	0.4	0.3	0.8	8.3	0.2	1.1	8.8
0.0	0.4	8.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.3	0.8	8.8	8.0	0.0	8.1	0.0	0.2	0.3	0.1	0.1	0.5	8.6	0.7	0.0
0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	8.1	0.2	0.0	0.8	0.0	8.1	8.5	0.8	0.9	8.0	0.0	0.8	0.2	0.3	0.4	0.0	8.1	1.5	0.4	0.5	0.8
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	8.8	0.8	0.0	0.0	8.8	8.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0

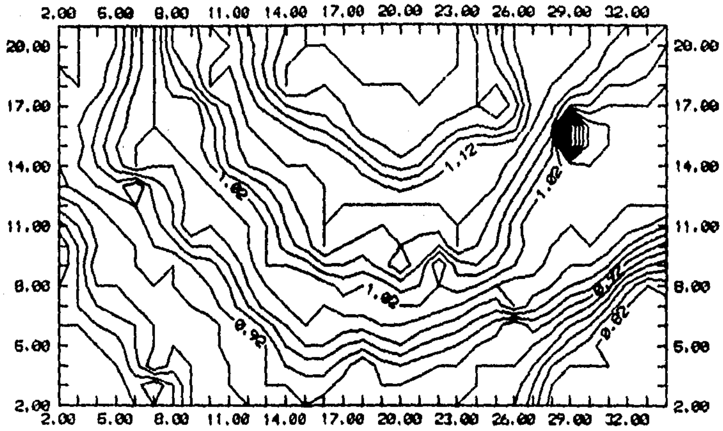
VALOR PROMEDIO DE LAS DIFERENCIAS	0.365
DIFERENCIA MAXIMA	3.648
DIFERENCIA MINIMA	0.0
NUMERO DE VECES QUE LA DIFERENCIA > 2	11
NUMERO DE VECES QUE LA DIFERENCIA > 3	3

Y por tanto, con entera confianza **podemos avanzar a la siguiente etapa.**

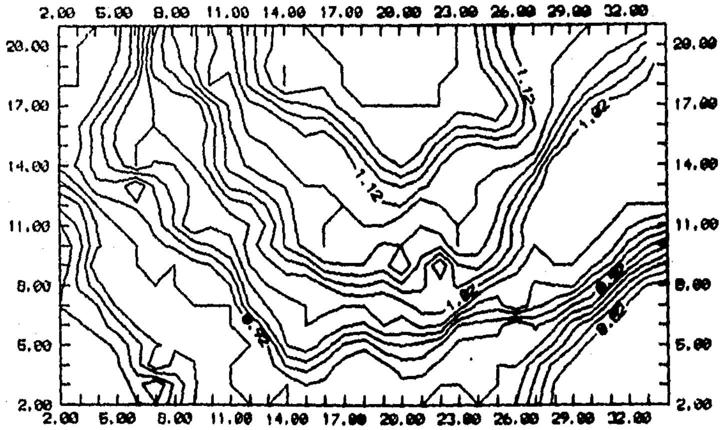
ETAPA 2

FUNCION 1:

$$0.75 \exp\left(- \left((9x-2)^2 + (9y-2)^2 \right) / 4 \right) +$$
$$0.75 \exp\left(- (9x+1)^2 / 49 - (9y+1) / 10 \right) +$$
$$0.50 \exp\left(- \left((9x-7)^2 + (9y-3)^2 \right) / 4 \right) -$$
$$0.20 \exp\left(- (9x-4)^2 - (9y-7)^2 \right) = Z.$$

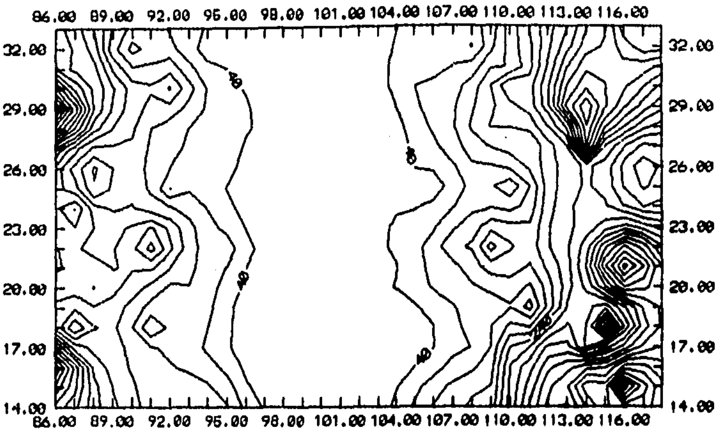


MAPA GENERADO A PARTIR DE LOS
DATOS INTERPOLADOS POR NUESTRO PROGRAMA

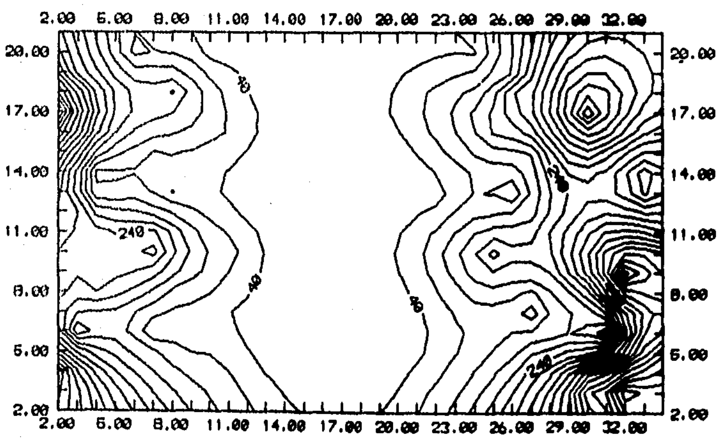


MAPA GENERADO A PARTIR
DE LAS ESTIMACIONES HECHAS POR SURFER

FUNCION 2: $Z = (1.25 + \mathrm{Cos}(5.4y)) / (6(1+(3x-1)^2))$

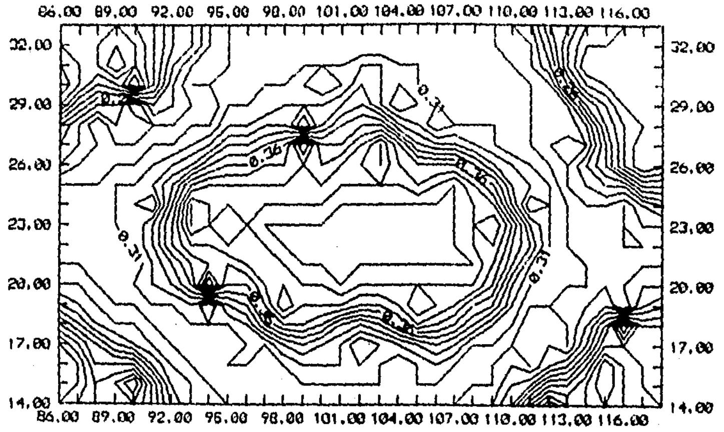


MAPA GENERADO A PARTIR DE LOS
DATOS INTERPOLADOS POR NUESTRO PROGRAMA

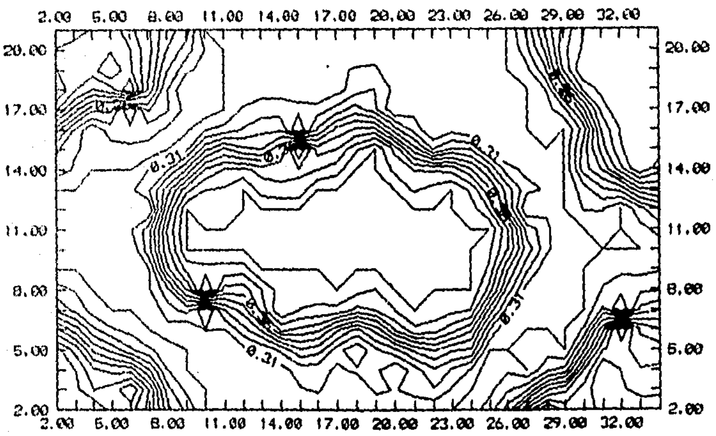


MAPA GENERADO A PARTIR
DE LAS ESTIMACIONES HECHAS POR SURFER

FUNCION 3: $Z = (1/9)\ SQRT(\ 64 - 81(\ (x-0.5)^2 + (y-0.5)^2\ )\ ) - 0.5$



MAPA GENERADO A PARTIR DE LOS
DATOS INTERPOLADOS POR NUESTRO PROGRAMA



MAPA GENERADO A PARTIR
DE LAS ESTIMACIONES HECHAS POR SURFER

Nuevamente podemos observar que el parecido en cada uno de los tres pares de gráficas es muy grande no obstante que hemos trabajado con funciones que, incluso a simple vista, son complicadas. Podemos, en forma similar a la ETAPA 1 proporcionar la matriz diferencia que se deriva de alguna de ellas con el objeto de complementar la información gráfica con los resultados numéricos. La función número 1, por ejemplo, nos arroja lo siguiente:

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

VALOR PROMEDIO DE LAS DIFERENCIAS	**0.0063639**
DIFERENCIA MAXIMA	**0.1337462**
DIFERENCIA MINIMA	**0.0**
NUMERO DE VECES QUE LA DIFERENCIA > 2	**0.0**
NUMERO DE VECES QUE LA DIFERENCIA > 3	**0.0**

Lo cual, en términos prácticos, **significa que nuestro algoritmo, programa y entorno son** muy confiables pues han satisfecho **más que mínimamente ambas etapas en el proceso** de calibración, pero además ofrecen **dos ventajas adicionales:**

i) No se pierden jamás los datos conocidos, es decir, si en el campo inicial la casilla i,j tiene el valor z_0 , éste prevalece en el campo final (matriz llena de valores estimados) mientras que Surfer no lo garantiza pues en algunas ocaciones los conserva y en otras, que son las más de los casos, los pierde.

Nótese que este argumento no fue utilizado en el momento de considerar las matrices de diferencias y que de haberlo hecho el porcentaje de "confiabilidad y eficiencia" de nuestro trabajo, claramente habría aumentado.

ii) Es relativamente sencillo implementar en nuestro programa las restricciones orográficas que, en la práctica, son de gran importancia; mientras que Surfer es un programa cerrrado, obscuro, que nos impide conocer y mucho menos modificar, varios de los procesos que contiene.

Para aclarar más este punto, considerese lo siguiente: Si en la falda norte de una montaña existe una temperatura T_0 y en la falda sur (punto opuesto) existe el mismo valor, ¿Qué es lo que hace Surfer al trazar las isolineas?, ¿Qué temperatura existe en la cima de la montaña?, ¿Es correcto que Surfer atraviese la montaña de un lugar a otro?.

Debemos estar seguros, finalmente, de que los resultados obtenidos, tomando como punto de referencia a Surfer-Inverso de las Distancias que, a pesar de las limitaciones ya antes mencionadas, es un programa escencialmente correcto (pues tuvimos oportunidad de contrastarlo con opciones más exactas y confiables), no son producto de la casualidad sino de una síntesis de técnicas e ideas correctas.

CONCLUSION

En este apartado retomaremos un par de comentarios que a lo largo del contenido presentado quedaron incompletos, de igual forma, bosquejaremos algunas ideas generales que nos proporcionarán una visión global del ambiente en el que está inmerso nuestro trabajo y las expectativas que tiene considerado globalmente o en forma parcial a través de la selección y desarrollo "más a fondo" de algunos de los tópicos mostrados.

Es necesario recalcar, adulando a la insistencia, que los algoritmos, producto de la abstracción de la teoría, y los programas, resultado de la codificación de los primeros nos proporcionaron tanto para la distribución de los datos reales como para las funciones prueba en las etapas de calibración resultados muy satisfactorios no obstante que la teoría subyacente a las directrices constituye tan sólo un conjunto de suposiciones y simplificaciones para el caso más sencillo. Lo que pretendemos hacer notar es que las ecuaciones que intervienen en el programa se pueden mejorar notablemente con el consecuente beneficio en los resultados.

En este mismo sentido hay que agregar que los programas que hemos desarrollado tienen la ventaja adicional, sobre los productos comerciales, de ser suceptibles de modificación en un aspecto que para el caso que fueron desarrollados es fundamental: *El comportamiento frente a la Orografía*. Este problema en términos muy generales ya fue descrito en la sección denominada DISCUSION, pero brevemente se refiere a la imposibilidad que deben de tener las isolineas para atravesar longitudinalmente una montaña, un volcán, una depresión o cualquier factor orográfico considerable pues a medida que se va avanzando a través de ellas hasta alcanzar sus cimas o sus valles las condiciones meteoroloógicas van cambiando considerablemente, y por tanto, es incorrecto que a partir de dos datos iguales y opuestos en las faldas de una montaña se pretenda trazar mecánicamente una linea muy parecida a una recta; lo correcto sería trazar una linea que rodee la montaña.

Por otro lado, hay que reconocer que actualmente la teoría que hemos mostrado constituye únicamente los cimientos, o motivación quizás, de notables investigaciones que se han desarrollado con la intención de resolver el mismo problema pero de una manera más eficiente, donde la eficiencia radica en la exactitud que se pretende, en el número de variables y situaciones que se desea involucrar, en el alcance en unidades de tiempo de los resultados logrados, etc., y que en este momento en forma automatizada se explotan en los más grandes y poderosos centros de pronóstico meteorológico del mundo entero.

Es bueno mencionar en este momento, continuando con la intención de mostrar la situación real de nuestro trabajo, que de acuerdo a clasificaiones actuales las ideas que hemos desarrollado, quedan englobadas dentro de una etapa de lo que formalmente se

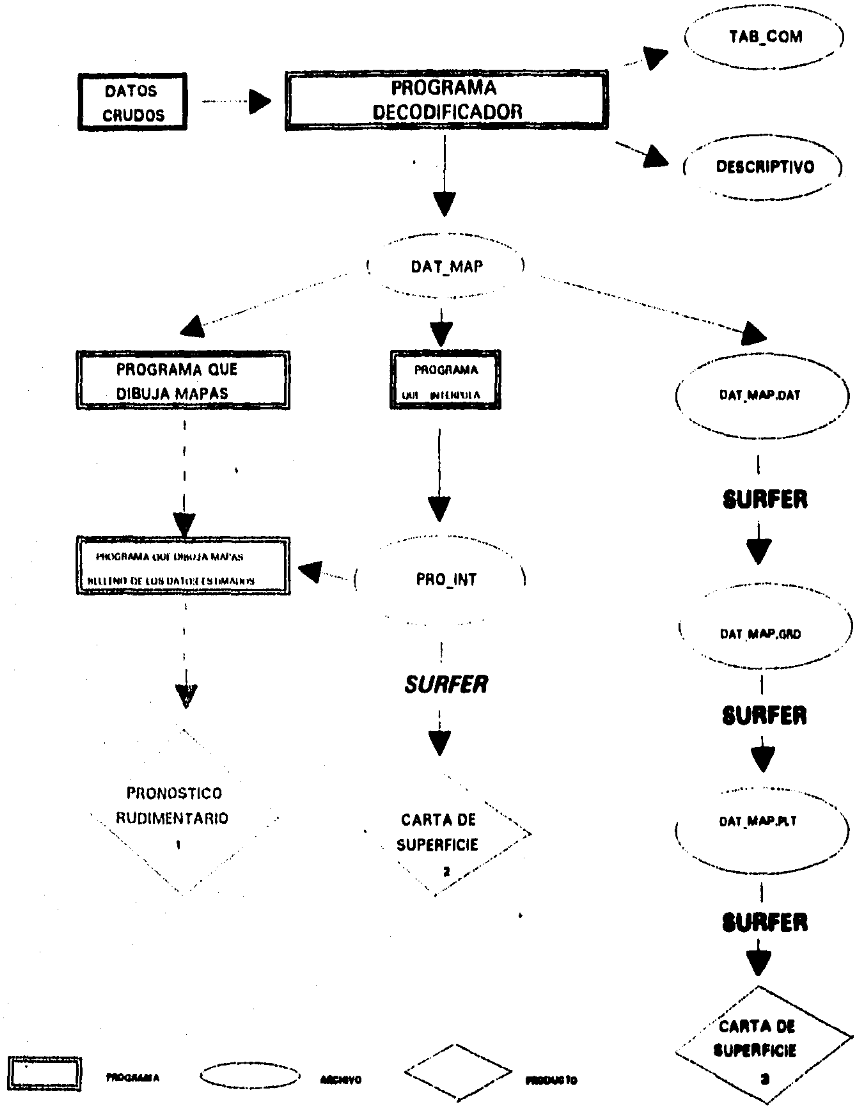
conoce como **ANALISIS OBJETIVO** que a su vez forma parte de las Técnicas de Análsis Meteorológico el cual tiene como tarea básica la reproducción a partir de un conjunto de observaciones de el estado verdadero de la atmósfera.

El propósito del Análisis Objetivo radica en obtener la descripción más exacta de un conjunto de datos mediante el uso de un conjunto de instrucciones que pueden ser igualmente aplicables a cualquier otro cunjunto de datos. En la práctica, las instrucciones se encuentran en forma de programas de cómputo que corren en una computadora digital.

El uso de los procedimientos de análisis objetivo se ha convertido en algo ordinario en los Servicios Meteorológicos de los paises desarrollados en estos últimos años, mientras que las técnicas manuales de análisis (**ANALISIS SUBJETIVO**) permanecen como las formas comunes en los Servicios Meteorológicos de los paises pobres.

Así pues, ubicándonos en un escenario real que nos permita contar con un punto de vista global y objetivo, tendremos que darnos cuenta de que el trabajo que hemos desarrollado constituye tan sólo una sístesis de ideas muy elementales pero que a pesar de todo, o quizás precisamente por ello, según la posición en la que se esté, tiene su valor teórico y práctico.

ALTERNATIVAS PARA EL FLUJO DE LA INFORMACION HASTA LA OBTENCION DE UN PRODUCTO



```
************************************************************************
*PROGRAMA DE DECODIFICACION (DECODI.FOR): LEE DATOS DE LOS ARCHIVOS DE
* INFORMACION METEOROLOGICA SINOPTICA ACTUAL O DE LOS ARCHIVOS DE
* RESPALDO CON INFORMACION SINOPTICA HISTORICA. LA SALIDA CONSISTE DE TRES
* ARCHIVOS 2 CON OBJETIVOS AJENOS A LA APLICACION QUE ESTAMOS DESARROLLANDO
* Y OTRO, DAT_MAP, CON LA INFORMACION INDISPENSABLE PARA LA CONSECUCION DE
* DE NUESTRO OBJETIVO FINAL.
*
* EL PROGRAMA DECOFICA TODOS LOS GRUPOS DE LOS MENSAJES CON FORMATO FM12-IX
* PERO ESTA HABILITADO PARA CREAR DATA_MAP UNICAMENTE CON INFORMACION DE
* TEMPERATURA AMBIENTE, PRESION ATMOSFERICA O PRECIPITACION (LLUVIA)
*
*
*     INCLUDE 'FGRAPH.FI'
*     INCLUDE 'FGRAPH.FD'
      REAL*4        MEDI,MEDIA,VAR10,VARI,LAT,LON
      REAL          VARIA10,SUBTOTAL1
      INTEGER       ESTACION,Z,ELECCION
      INTEGER*1     BANDERA,HORA,DIA
      INTEGER*2     L,B,RENGLON,CEN,DEC,UNI,DUMMY2,DUMMY
      INTEGER*2     CENTENA,DECENA,UNIDAD,DMIL,DMILES,REN
      INTEGER*2     CONTADOR,NOCERO,MIL,MILES,APUN,JDIA
      INTEGER*4     COLUMNA,ITAD5,ITRD5,ITXD5,MED10,ITND5
      INTEGER*4     NMS,D1,NQ,SUBTOTAL,IPSD6,IPMD6,IPRD5
      CHARACTER*1   SG,PUNTO,N,LIN,DR,DRS,RESP
      CHARACTER*1   GUION,CERO,CREG
      CHARACTER*2   ANIO,NMES,CHH,CDD,CHH1
      CHARACTER*3   NSTN,ANIOB,NMESB,CDDB
      CHARACTER*4   AA
      CHARACTER*5   TAD5,TRD5,TXD5,TND5,PRD5
      CHARACTER*6   PSD6,PMD6
      CHARACTER*7   INICIA1,INICIA2,RESET
      CHARACTER*8   DIRECCION,INTENSIDAD,DRCTOR
      CHARACTER*10  INFORME
      CHARACTER*(*) SP
      PARAMETER (SP=' ')
      CHARACTER*15 ARCH_S,INICIA3
      CHARACTER*31 NOMBRE
```

```
      CHARACTER*35 ARCH_SAL
      CHARACTER*30 ARCH_DATOS,MES
      DIMENSION    LIN(85)
      DIMENSION    LAT(80)
      DIMENSION    LON(80)
      DIMENSION    INFORME(80,10)
      DIMENSION    NOMBRE(79)
      DIMENSION    ESTACION(80,310)
      DIMENSION    MEDIA(79)
      DIMENSION    VARIANZA(79)
*     RECORD /xycoord/ xy
*
***************************************************************************
*  INICIALIZAMOS ALGUNAS VARIABLES QUE SE UTILIZARAN A LO LARGO DEL
*  PROGRAMA
***************************************************************************
*
            L=-1
            GUION='-'
            CERO='0'
            NP=0
            NSTN='---'
            SG=' '
            PUNTO='.'
            CREG=' '
            BANDERA=0
            DO 444,RENGLON=1,80
             LAT(RENGLON)=0
             LON(RENGLON)=0
444         CONTINUE
            SUBTOTAL=0
            SUBTOTAL1=0
            NOCERO=0

***************************************************************************
*  SE LLENA UN ARREGLO UNIDIMENSIONAL DE 79 ELEMENTOS CON LOS NOMBRES DE
*  LAS ESTACIONES, DEJANDO FUERA A LAS ESTACIONES:
*
*       Esmeralda, Coah.       280
*       Tamuin, S.L.P.         543
*       Islas Marias, Nay.     551
*       Isla Lobos, Ver.       570
*       Isla Contoy, Camp.     590
*
*  DEBIDO A QUE NO TRANSMITEN REGULARMENTE INFORMACION.
***************************************************************************

        DATA NOMBRE(01)/' 050 '/
        DATA NOMBRE(02)/' 055 '/
        DATA NOMBRE(03)/' 061 '/
        DATA NOMBRE(04)/' 113 '/
        DATA NOMBRE(05)/' 118 '/
        DATA NOMBRE(06)/' 122 '/
        DATA NOMBRE(07)/' 151 '/
        DATA NOMBRE(08)/' 160 '/
        DATA NOMBRE(09)/' 220 '/
        DATA NOMBRE(10)/' 225 '/
        DATA NOMBRE(11)/' 243 '/
        DATA NOMBRE(12)/' 253 '/
        DATA NOMBRE(13)/' 256 '/
```

```
      DATA NOMBRE(14)/' 258 '/
*     DATA NOMBRE(15)/' 280 '/
      DATA NOMBRE(15)/' 305 '/
      DATA NOMBRE(16)/' 311 '/
      DATA NOMBRE(17)/' 323 '/
      DATA NOMBRE(18)/' 342 '/
      DATA NOMBRE(19)/' 373 '/
      DATA NOMBRE(20)/' 382 '/
      DATA NOMBRE(21)/' 390 '/
      DATA NOMBRE(22)/' 393 '/
      DATA NOMBRE(23)/' 401 '/
      DATA NOMBRE(24)/' 402 '/
      DATA NOMBRE(25)/' 405 '/
      DATA NOMBRE(26)/' 412 '/
      DATA NOMBRE(27)/' 423 '/
      DATA NOMBRE(28)/' 458 '/
      DATA NOMBRE(29)/' 471 '/
      DATA NOMBRE(30)/' 491 '/
      DATA NOMBRE(31)/' 499 '/
      DATA NOMBRE(32)/' 519 '/
      DATA NOMBRE(33)/' 525 '/
      DATA NOMBRE(34)/' 539 '/
*     DATA NOMBRE(35)/' 543 '/
      DATA NOMBRE(35)/' 548 '/
*     DATA NOMBRE(38)/' 551 '/
      DATA NOMBRE(36)/' 556 '/
*     DATA NOMBRE(40)/' 570 '/
      DATA NOMBRE(37)/' 571 '/
      DATA NOMBRE(38)/' 577 '/
      DATA NOMBRE(39)/' 581 '/
      DATA NOMBRE(40)/' 585 '/
*     DATA NOMBRE(45)/' 590 '/
      DATA NOMBRE(41)/' 593 '/
      DATA NOMBRE(42)/' 612 '/
      DATA NOMBRE(43)/' 625 '/
      DATA NOMBRE(44)/' 632 '/
      DATA NOMBRE(45)/' 634 '/
      DATA NOMBRE(46)/' 640 '/
      DATA NOMBRE(47)/' 644 '/
      DATA NOMBRE(48)/' 647 '/
      DATA NOMBRE(49)/' 648 '/
      DATA NOMBRE(50)/' 654 '/
      DATA NOMBRE(51)/' 656 '/
      DATA NOMBRE(52)/' 662 '/
      DATA NOMBRE(53)/' 665 '/
      DATA NOMBRE(54)/' 675 '/
      DATA NOMBRE(55)/' 679 '/
      DATA NOMBRE(56)/' 680 '/
      DATA NOMBRE(57)/' 683 '/
      DATA NOMBRE(58)/' 685 '/
      DATA NOMBRE(59)/' 687 '/
      DATA NOMBRE(60)/' 692 '/
      DATA NOMBRE(61)/' 695 '/
      DATA NOMBRE(62)/' 698 '/
      DATA NOMBRE(63)/' 723 '/
      DATA NOMBRE(64)/' 726 '/
      DATA NOMBRE(65)/' 737 '/
      DATA NOMBRE(66)/' 741 '/
      DATA NOMBRE(67)/' 743 '/
      DATA NOMBRE(68)/' 750 '/
```

```
      DATA NOMBRE(69)/' 762 '/
      DATA NOMBRE(70)/' 773 '/
      DATA NOMBRE(71)/' 775 '/
      DATA NOMBRE(72)/' 805 '/
      DATA NOMBRE(73)/' 833 '/
      DATA NOMBRE(74)/' 840 '/
      DATA NOMBRE(75)/' 843 '/
      DATA NOMBRE(76)/' 845 '/
      DATA NOMBRE(77)/' 848 '/
      DATA NOMBRE(78)/' 855 '/
      DATA NOMBRE(79)/' 903 '/
      DO 1,I=1,79
1      NOMBRE(I)(1:1)=CREG

************************************************************************
*
*   EN FORMA  INTERACTIVA  CON  EL  USUARIO SE OBTIENEN EL VALOR DE LAS
*   VARIABLES QUE DETERMINARAN EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE ENTRADA,  EL  DE
*   SALIDA, Y EL PARAMETRO CON EL QUE SE CREARA DAT_MAP


      DO 399 B=1,45
399    WRITE(*,*)
      WRITE (*,'(A\)') '  PROPORCIONAR EL AÑO, MES Y DIA DE LOS '
      WRITE (*,'(A24)')' MENSAJES A DECODIFICAR'
*
       WRITE(*,*)
       WRITE (*,'(A\)')'   AÑO  :  (AAAA)                 ?          '
       READ (*,'(A4)') AA
       WRITE(*,*)
       WRITE (*,'(A\)')'   MES  : (ENERO,...,DICIEMBRE)   ?          '
       READ (*,'(A12)') MES
       WRITE(*,*)
       WRITE (*,'(A\)')'   DIA  : ( 01,02,...,30,31 )      ?         '
       READ (*,'(I2)') DIA
       WRITE(*,*)
       WRITE (*,'(A\)')'   HORA : ( 00,03,...,18,21 )     ?          '
       READ (*,'(I2)') HORA
*
       IF (MES.EQ.'ENERO') THEN
        NMES='01'
       ENDIF
       IF (MES.EQ.'FEBRERO') THEN
        NMES='02'
       ENDIF
       IF (MES.EQ.'MARZO') THEN
        NMES='03'
       ENDIF
       IF (MES.EQ.'ABRIL') THEN
        NMES='04'
       ENDIF
       IF (MES.EQ.'MAYO') THEN
        NMES='05'
       ENDIF
       IF (MES.EQ.'JUNIO') THEN
        NMES='06'
       ENDIF
       IF (MES.EQ.'JULIO') THEN
        NMES='07'
       ENDIF
```

```
      IF (MES.EQ.'AGOSTO') THEN
       NMES='08'
      ENDIF
      IF (MES.EQ.'SEPTIEMBRE') THEN
       NMES='09'
      ENDIF
      IF (MES.EQ.'OCTUBRE') THEN
       NMES='10'
      ENDIF
      IF (MES.EQ.'NOVIEMBRE') THEN
       NMES='11'
      ENDIF
      IF (MES.EQ.'DICIEMBRE') THEN
       NMES='12'
      ENDIF
      WRITE(*,*)
      WRITE(*,*)'  CON QUE PARAMETRO SE TRAZARAN LOS MAPAS     '
      WRITE(*,*)
      WRITE(*,*)'           2. TEMPERATURA AMBIENTE   '
      WRITE(*,*)'           7. PRESION ATMOSFERICA    '
      WRITE(*,*)'           1. PRECIPITACION          '
      WRITE(*,'(A\)')'               2,7,1  :  ?           '
      READ(*,'(I1)')ELECCION
*
      WRITE(*,*)
      ANIO(1:1)=AA(3:3)
      ANIO(2:2)=AA(4:4)
      WRITE (*,'(A\)') '   EN QUE DRIVE ESTA EL DISCO DE DATOS ?     '
      READ (*,'(A1)') DR
*
      WRITE(*,*)
      WRITE (*,'(A\)') '   DRIVE DE SALIDA ?                         '
      READ (*,'(A1)') DRS
*
      WRITE(*,*)
      WRITE (*,'(A\)') '   EN EL DIRECTORIO RAIZ (S/N)    ?          '
      READ (*,'(A1)') RESP
*
      IF ((RESP.EQ.'S').OR.(RESP.EQ.'s')) THEN
       WRITE (*,*)
       WRITE(*,'(A\)') '   NOMBRE DEL ARCHIVO DE SALIDA  ?           '
       READ (*,'(A15)') ARCH_S
       ARCH_SAL= DRS // ':' // ARCH_S
*      ARCH_SAL='LPT1'
      ELSE
       IF ((RESP.EQ.'N').OR.(RESP.EQ.'n')) THEN
        WRITE(*,*)
        WRITE(*,'(A\)') '   NOMBRE DEL DIRECTORIO  (DDDDDDDD)  ?     '
        READ (*,'(A8)') DRCTOR
        WRITE(*,*)
        WRITE(*,'(A\)') '   NOMBRE DEL ARCHIVO DE SALIDA  ?          '
        READ(*,'(A12)') ARCH_S

        ARCH_SAL= DRS // ':\' // DRCTOR // '\' // ARCH_S
*       ARCH_SAL='LPT1'
       ENDIF
      ENDIF
      PRINT 377, ARCH_SAL
*
*  ABRIMOS  ARCHIVOS  DE  SALIDA:  DONDE  QUEDARAN  TODOS  LOS DATOS
```

```
*    DECODIFICADOS,  TAB_COM,  Y  DONDE  QUEDARA LA LISTA DE DATOS QUE
*    FUNGIRAN  COMO  MATERIAS PRIMAS PARA EL DESARROLLO ULTERIOR DE LA
*    APLICACION
*
        IF (BANDERA.EQ.0) THEN
          BANDERA=1
          OPEN(3,FILE=ARCH_SAL,IOSTAT=K,ACCESS='SEQUENTIAL',
     1FORM='FORMATTED')
          OPEN(5,FILE="C:DAT_MAP",IOSTAT=K,ACCESS='SEQUENTIAL',
     1FORM='FORMATTED')
          IF (K.NE.0) GOTO 99
        ENDIF

***********************************************************************
*
*      INICIALIZACION DE LA IMPRESORA

*       INICIA1=' ' // CHAR(27) // "&l8D"
*       INICIA2=INICIA1 // CHAR(27)
*       INICIA3=INICIA2 // "(s0p10H"
*       RESET =CHAR(27) // "E"
*
*       WRITE(3,31) INICIA3
*
*       DO 10, I=1,80
*        WRITE(7,20) I, CHAR(64+i)
*10     CONTINUE
*       WRITE(3,31) RESET
*
*20     FORMAT(I10, A10)
*31     FORMAT(80A)
*       END
*
***********************************************************************
*
*    LOS  MENSAJES  SINOPTICOS  SE  GUARDAN  EN  DIRECTORIOS  CON  NOMBRE
*
*                                 SINOHH
*
*    LOS QUE A SU VEZ CONTIENEN ARCHIVOS DE ALMACENAMIENTO FINAL LLAMADOS
*
*                                 SINOPDDHH
*
*    PARA LOS DIRECTORIOS Y ARCHIVOS HH PUEDE SER (00,03,06,09,...,18,21)
*    Y PARA LOS ARCHIVOS DD  PUEDE SER CUALQUIER NUMERO  ENTERO MAYOR QUE
*    1 Y MENOR O IGUAL QUE 31.  DE ESTA FORMA, LOS MENSAJES DE LAS 0 HRS.
*    DEL DIA 19 SE ENCUENTRAN EN   SINO00\SINOP1900.
*
*    POR LO TANTO ES FACIL TENER ACCESO A LA INFORMACION DE, POR EJEMPLO,
*    TODO  UN  MES  CON  TODAS  LAS  HORAS  SINOPTICAS REFERENCIANDO LOS
*    DIRECTORIOS Y ARCHIVOS CON CONTADORES ENTEROS
*
         DO 313, IHR=0,0
          DO 314,IDIA=1,1

           SELECT CASE(HORA)
            CASE(0)
             CHH='00'
            CASE(3)
```

```
  CHH='03'
 CASE(6)
  CHH='06'
 CASE(9)
  CHH='09'
 CASE(12)
  CHH='12'
 CASE(15)
  CHH='15'
 CASE(18)
  CHH='18'
 CASE(21)
  CHH='21'
END SELECT
*
SELECT CASE(DIA)
 CASE(1)
  CDD='01'
 CASE(2)
  CDD='02'
 CASE(3)
  CDD='03'
 CASE(4)
  CDD='04'
 CASE(5)
  CDD='05'
 CASE(6)
  CDD='06'
 CASE(7)
  CDD='07'
 CASE(8)
  CDD='08'
 CASE(9)
  CDD='09'
 CASE(10)
  CDD='10'
 CASE(11)
  CDD='11'
 CASE(12)
  CDD='12'
 CASE(13)
  CDD='13'
 CASE(14)
  CDD='14'
 CASE(15)
  CDD='15'
 CASE(16)
  CDD='16'
 CASE(17)
  CDD='17'
 CASE(18)
  CDD='18'
 CASE(19)
  CDD='19'
 CASE(20)
  CDD='20'
 CASE(21)
  CDD='21'
 CASE(22)
  CDD='22'
```

```
          CASE(23)
           CDD='23'
          CASE(24)
           CDD='24'
          CASE(25)
           CDD='25'
          CASE(26)
           CDD='26'
          CASE(27)
           CDD='27'
          CASE(28)
           CDD='28'
          CASE(29)
           CDD='29'
          CASE(30)
           CDD='30'
          CASE(31)
           CDD='31'
         END SELECT
*
      WRITE(*,*)
      NMS=0
*
*   ARMAMOS EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS Y POSTERIORMENTE LO ABRIMOS
*
      ARCH_DATOS=DR // ':\SINOP' // CHH // '\SINO' // CDD // CHH
      PRINT 377, ARCH_DATOS
377   FORMAT(T3,35A)
      OPEN(1,FILE=ARCH_DATOS,IOSTAT=K)
      IF (K.NE.0) GOTO 99
      DO 310,I=1,80
       DO 311,J=1,10
        INFORME(I,J)='          '
311    CONTINUE
310   CONTINUE

*   COMENZAMOS A LEER DEL ARCHIVO DE DATOS

51    READ (1,30,IOSTAT=K,END=92)(LIN(I),I=2,86)
30    FORMAT (85A1)
      IF (K) 92,53,99
*
*   Y SI ENCONTRAMOS EN EL REGISTRO LEIDO QUE SU ENCABEZADO ES UN NUMERO
*   VALIDO  ENTONCES  PROCEDEMOS  CON  LA  DECODIFICACION DE LOS GRUPOS
*   SIGUIENTES,  DE  LO  CONTRARIO LO ABANDONAMOS Y LEEMOS EL  SIGUIENTE
*   REGISTRO.
*
53    IF (LIN(2).EQ.'7'.AND.LIN(3).EQ.'6') GOTO 54
      L=80
200   IF (L-10) 51,215,215
215   LB=L-9
*
**********************************************************************
*   INICIAMOS CON EL CODIGO DE DECODIFICACION

      DO 201,IB=2,LB
       IB1=IB+1
       IB2=IB+2
       IB3=IB+3
       IB4=IB+4
```

```
      IF (LIN(IB).EQ.'3'.AND.LIN(IB1).EQ.'3'.AND.LIN(IB2).EQ.'3'.
     1AND.LIN(IB3).EQ.' ') GOTO 250
201   CONTINUE
      TXD5='     '
      TND5='     '
      PRD5='     '
      GOTO 56
250   LB2=L-5
      ISB=IB3
      DO 202,ITX=ISB,LB2
       ITX1=ITX+1
       ITX2=ITX+2
       ITX3=ITX+3
       ITX4=ITX+4
       ITX5=ITX+5
       IF (LIN(ITX).EQ.' '.AND.LIN(ITX1).EQ.'1') GOTO 220
202   CONTINUE
      TXD5='-9999'
      GOTO 224
220   IF (LIN(ITX2).EQ.'0'.OR.LIN(ITX2).EQ.'1') GOTO 20
      TXD5='-9999'
      GOTO 224
20    IF (LIN(ITX2).NE.' '.AND.LIN(ITX3).NE.' '.AND.LIN(ITX4).NE.' '.
     1AND.LIN(ITX5).NE.' ') GOTO 222
      TXD5='-9999'
      GOTO 224
222   IF (LIN(ITX2).EQ.'0') SG=' '
      IF (LIN(ITX2).EQ.'1') SG='-'
      DO 207,INTX=ITX3,ITX4
       IMM=INTX-(ITX1)
*
*  DECODIFICAMOS TEMPERATURA MAXIMA
*
207   TXD5(IMM:IMM)=LIN(INTX)
      TXD5(1:1)=SG
      TXD5(4:4)=PUNTO
      TXD5(5:5)=LIN(ITX5)
224   DO 203,ITN=ISB,LB2
       ITN1=ITN+1
       ITN2=ITN+2
       ITN3=ITN+3
       ITN4=ITN+4
       ITN5=ITN+5
       IF (LIN(ITN).EQ.' '.AND.LIN(ITN1).EQ.'2') GOTO 21
203   CONTINUE
      TND5='-9999'
      GOTO 230
21    IF (LIN(ITN2).NE.' '.AND.LIN(ITN3).NE.' '.AND.LIN(ITN4).NE.' '.
     1AND.LIN(ITN5).NE.' ') GOTO 225
      TND5='-9999'
      GOTO 230
225   IF (LIN(ITN2).EQ.'0'.OR.LIN(ITN2).EQ.'1') GOTO 226
      TND5='-9999'
      GOTO 230
226   IF (LIN(ITN2).EQ.'0') SG=' '
      IF (LIN(ITN2).EQ.'1') SG='-'
      DO 208,INTN=ITN3,ITN4
       IIM=INTN-(ITN1)
*
*  DECODIFICAMOS TEMPERATURA MINIMA
```

```
*
208   TND5(IIM:IIM)=LIN(INTN)
       TND5(1:1)=SG
       TND5(4:4)=PUNTO
       TND5(5:5)=LIN(ITN5)
230   PRD5='     '
      DO 204,IPN=ISB,LB2
       IPN1=IPN+1
       IPN2=IPN+2
       IPN3=IPN+3
       IPN4=IPN+4
       IPN5=IPN+5
       IF (LIN(IPN).EQ.' '.AND.LIN(IPN1).EQ.'7') GOTO 217
204   CONTINUE
      PRD5='-9999'
      GOTO 56
217    IF (LIN(IPN2).EQ.'9'.AND.LIN(IPN3).EQ.'9'.AND.LIN(IPN4).EQ.
     1'9'.AND.LIN(IPN5).EQ.'9') GOTO 237
       IF (LIN(IPN2).EQ.'9'.AND.(LIN(IPN3).EQ.'9'.AND.
     1LIN(IPN4).EQ.'9')) GOTO 238
      GOTO 235
237   PRD5='-9999'
      GOTO 56
238   PRD5='000.'//(LIN(IPN5))
      GOTO 56
235    IF (LIN(IPN2).NE.'/'.AND.LIN(IPN3).NE.'/'.AND.LIN(IPN4).NE.
     1'/'.AND.LIN(IPN5).NE.'/') GOTO 22
      PRD5='-9999'
      GOTO 56
22     IF (LIN(IPN2).NE.' '.AND.LIN(IPN3).NE.' '.AND.LIN(IPN4).NE.' '.
     1AND.LIN(IPN5).NE.' ') GOTO 236
      PRD5='-9999'
      GOTO 56
236   DO 209,INPN=IPN2,IPN4
      IIM=INPN-(IPN2-1)
*
*   DECODIFICAMOS PRECIPITACION
*
209   PRD5(IIM:IIM)=LIN(INPN)
      PRD5(4:4)=PUNTO
      PRD5(5:5)=LIN(IPN5)
      GOTO 56
54    NMS=NMS+1
      IF (LIN(4).NE.' '.AND.LIN(5).NE.' '.AND.LIN(6).NE.' ') GOTO 23
      GOTO 51
23    DO 2,I=4,6
       IM=I-3
2     NSTN(IM:IM)=LIN(I)
109   PRINT *,' Mensaje : ',NMS,' Estacion : ',NSTN,' NP=',NP
*
*
      ID1=ICHAR(LIN(14))
      D1=ID1-48
      IF (LIN(13).EQ.' '.AND.(D1.GE.0.AND.D1.LE.9)) GOTO999
      GOTO 998
998   IF (LIN(13).EQ.' '.AND.LIN(14).EQ.'/') GOTO 997
997   N='0'
      GOTO 996
*
*   DECODIFICAMOS DIRECCION E INTENSIDAD DEL VIENTO
```

```
*
999   N=LIN(14)
996   DIRECCION=LIN(15)//LIN(16)//CERO
      IF (DIRECCION.EQ.'99') THEN DIRECCION='999'
      INTENSIDAD=LIN(17)//LIN(18)
*
*
      IF (LIN(19).EQ.' ') GOTO 110
      TAD5='     '
      GOTO 113
110   IF (LIN(20).EQ.'1') GOTO 24
      TAD5='-9999'
      GOTO 113
24    IF (LIN(21).NE.' '.AND.LIN(22).NE.' '.AND.LIN(23).NE.' '.AND.
     1LIN(24).NE.' ') GOTO 111
      TAD5='-9999'
      GOTO 113
111   IF (LIN(21).EQ.'0'.OR.LIN(21).EQ.'1') GOTO 112
      TAD5='-9999'
      GOTO 113
112   IF (LIN(21).EQ.'0') SG=' '
      IF (LIN(21).EQ.'1') SG='-'
      DO 3,I=22,23
       IM=I-20
*
*   DECODIFICAMOS TEMPERATURA AMBIENTE
*
3     TAD5(IM:IM)=LIN(I)
      TAD5(1:1)=SG
      TAD5(4:4)=PUNTO
      TAD5(5:5)=LIN(24)
113   IF (LIN(25).EQ.' ') GOTO 114
      TRD5='-9999'
      GOTO 117
114   IF (LIN(26).EQ.'2') GOTO 25
      TRD5='-9999'
      GOTO 117
25    IF (LIN(27).NE.' '.AND.LIN(28).NE.' '.AND.LIN(29).NE.' '.AND.
     1LIN(30).NE.' ') GOTO 115
      TRD5='-9999'
      GOTO 117
115   IF (LIN(27).EQ.'0'.OR.LIN(27).EQ.'1') GOTO 116
      TRD5='-9999'
      GOTO 117
116   IF (LIN(27).EQ.'0') SG=' '
      IF (LIN(27).EQ.'1') SG='-'
      DO 4,I=28,29
       IM=I-26
*
*   DECODIFICAMOS TEMPERATURA DE PUNTO DE ROCIO
*
4     TRD5(IM:IM)=LIN(I)
      TRD5(1:1)=SG
      TRD5(4:4)=PUNTO
      TRD5(5:5)=LIN(30)
117   SG=' '
      IF (LIN(31).EQ.' ') GOTO 118
      PSD6='-99999'
      GOTO 121
118   IF (LIN(32).EQ.'3') GOTO 26
```

```
      PSD6='-99999'
      SG=' '
      GOTO 121
26    IF (LIN(33).NE.' '.AND.LIN(34).NE.' '.AND.LIN(35).NE.' '.AND.
     1LIN(36).NE.' ') GOTO 119
      PSD6='-99999'
      GOTO 121
119   IF (LIN(33).NE.'/'.AND.LIN(34).NE.'/'.AND.LIN(35).NE.'/'.AND.
     1LIN(36).NE.'/') GOTO 120
      PSD6='-99999'
      GOTO 121
120   IF (LIN(33).EQ.'0') SG='1'
      DO 5,I=33,35
       IM=I-31
*
*   DECODIFICAMOS PRESION ATMOSFERICA EN EL NIVEL DE LA ESTACION
*
5     PSD6(IM:IM)=LIN(I)
      PSD6(1:1)=SG
      PSD6(5:5)=PUNTO
      PSD6(6:6)=LIN(36)
121   IF (LIN(37).EQ.' ') GOTO 122
      PMD6='-99999'
      GOTO 55
122   IF (LIN(38).EQ.'4') GOTO 27
      PMD6='-99999'
      SG=' '
      GOTO 55
27    IF (LIN(39).NE.' '.AND.LIN(40).NE.' '.AND.LIN(41).NE.' '.AND.
     1LIN(42).NE.' ') GOTO 123
      PMD6='-99999'
      GOTO 55
123   IF (LIN(39).NE.'/'.AND.LIN(40).NE.'/'.AND.LIN(41).NE.'/'.AND.
     1LIN(42).NE.'/') GOTO 124
      PMD6='-99999'
      GOTO 55
124   IF (LIN(39).EQ.'0') SG='1'
      DO 6,I=39,41
       IM=I-37
*
*   DECODIFICAMOS PRESION ATMOSFERICA REDUÇIDA AL NIVEL MEDIO DEL MAR
*
6     PMD6(IM:IM)=LIN(I)
      PMD6(1:1)=SG
      PMD6(5:5)=PUNTO
      PMD6(6:6)=LIN(42)
125   GOTO 55

*************************************************************************
*
*  ALMACENAMOS LA UBICACION GEOGRAFICA DEL OBSERVATORIO QUE ENVIO EL
*  MENSAJE

55        NP=0
          IF (NSTN.EQ.'050') THEN
           NP=1
           LAT(1)=31.85
           LON(1)=-116.83
          ENDIF
          IF (NSTN.EQ.'055') THEN
```

```
            NP=2
*           LAT(2)=
*           LON(2)=
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'061') THEN
            NP=3
            LAT(3)=31.35
            LON(3)=-113.67
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'113') THEN
            NP=4
*           LAT(NP)=
*           LON(NP)=
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'118') THEN
            NP=5
*           LAT(NP)=
*           LON(NP)=
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'122') THEN
            NP=6
            LAT(6)=30.42
            LON(6)=-107.92
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'151') THEN
            NP=7
            LAT(NP)=29.17
            LON(NP)=-118.32
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'160') THEN
            NP=8
            LAT(NP)=29.08
            LON(NP)=-110.95
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'220') THEN
            NP=9
            LAT(NP)=28.95
            LON(NP)=-107.82
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'225') THEN
            NP=10
            LAT(NP)=28.63
            LON(NP)=-106.07
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'243') THEN
            NP=11
            LAT(NP)=28.70
            LON(NP)=-100.52
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'253') THEN
            NP=12
*           LAT(NP)=
*           LON(NP)=
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'256') THEN
            NP=13
            LAT(NP)=27.95
            LON(NP)=-110.80
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'258') THEN
```

```
        NP=26
        LAT(NP)=24.82
        LON(NP)=-107.40
       ENDIF
       IF (NSTN.EQ.'423') THEN
        NP=27
        LAT(NP)=24.03
        LON(NP)=-104.67
       ENDIF
       IF (NSTN.EQ.'458') THEN
        NP=28
        LAT(NP)=23.20
        LON(NP)=-106.42
       ENDIF
       IF (NSTN.EQ.'471') THEN
        NP=29
*       LAT(NP)=
*       LON(NP)=
       ENDIF
       IF (NSTN.EQ.'491') THEN
        NP=30
        LAT(NP)=23.73
        LON(NP)=-99.13
       ENDIF
       IF (NSTN.EQ.'499') THEN
        NP=31
        LAT(NP)=23.80
        LON(NP)=-98.20
       ENDIF
       IF (NSTN.EQ.'519') THEN
        NP=32
*       LAT(NP)=
*       LON(NP)=
       ENDIF
       IF (NSTN.EQ.'525') THEN
        NP=33
        LAT(NP)=22.78
        LON(NP)=-102.58
       ENDIF
       IF (NSTN.EQ.'539') THEN
        NP=34
        LAT(NP)=22.15
        LON(NP)=-100.98
       ENDIF
*      IF (NSTN.EQ.'543') THEN
       IF (NSTN.EQ.'548') THEN
        NP=35
        LAT(NP)=22.22
        LON(NP)=-97.85
       ENDIF
*      IF (NSTN.EQ.'551') THEN
       IF (NSTN.EQ.'556') THEN
        NP=36
        LAT(NP)=21.50
        LON(NP)=-104.88
       ENDIF
*      IF (NSTN.EQ.'570') THEN
       IF (NSTN.EQ.'571') THEN
        NP=37
        LAT(NP)=21.88
```

```
         LON(NP)=-102.30
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'577') THEN
         NP=38
         LAT(NP)=21.02
         LON(NP)=-101.25
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'581') THEN
         NP=39
         LAT(NP)=21.93
         LON(NP)=-100
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'585') THEN
         NP=40
*        LAT(NP)=
*        LON(NP)=
        ENDIF
*       IF (NSTN.EQ.'590') THEN
        IF (NSTN.EQ.'593') THEN
         NP=41
         LAT(NP)=21.3
         LON(NP)=-86.67
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'612') THEN
         NP=42
         LAT(NP)=20.68
         LON(NP)=-103.68
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'625') THEN
         NP=43
         LAT(NP)=20.60
         LON(NP)=-100.38
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'632') THEN
         NP=44
         LAT(NP)=20.13
         LON(NP)=-98.73
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'634') THEN
         NP=45
         LAT(NP)=20.08
         LON(NP)=-98.37
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'640') THEN
         NP=46
         LAT(NP)=20.95
         LON(NP)=-97.38
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'644') THEN
         NP=47
         LAT(NP)=20.95
         LON(NP)=-89.70
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'647') THEN
         NP=48
         LAT(NP)=20.68
         LON(NP)=-88.20
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'648') THEN
         NP=49
```

```
      LAT(NP)=20.52
      LON(NP)=-86.95
     ENDIF
     IF (NSTN.EQ.'654') THEN
      NP=50
      LAT(NP)=19.05
      LON(NP)=-104.33
     ENDIF
     IF (NSTN.EQ.'656') THEN
      NP=51
      LAT(NP)=19.70
      LON(NP)=-103.47
     ENDIF
     IF (NSTN.EQ.'662') THEN
      NP=52
*     LAT(NP)=
*     LON(NP)=
     ENDIF
     IF (NSTN.EQ.'665') THEN
      NP=53
      LAT(NP)=19.70
      LON(NP)=-101.18
     ENDIF
     IF (NSTN.EQ.'675') THEN
      NP=54
      LAT(NP)=19.30
      LON(NP)=-99.67
     ENDIF
     IF (NSTN.EQ.'679') THEN
      NP=55
      LAT(NP)=19.43
      LON(NP)=-99.08
     ENDIF
     IF (NSTN.EQ.'680') THEN
      NP=56
      LAT(NP)=19.43
      LON(NP)=-99.13
     ENDIF
     IF (NSTN.EQ.'683') THEN
      NP=57
      LAT(NP)=19.32
      LON(NP)=-98.23
     ENDIF
     IF (NSTN.EQ.'685') THEN
      NP=58
      LAT(NP)=19.85
      LON(NP)=-98.20
     ENDIF
     IF (NSTN.EQ.'687') THEN
      NP=59
      LAT(NP)=19.53
      LON(NP)=-96.92
     ENDIF
     IF (NSTN.EQ.'692') THEN
      NP=60
      LAT(NP)=19.15
      LON(NP)=-96.12
     ENDIF
     IF (NSTN.EQ.'695') THEN
      NP=61
```

```
         LAT(NP)=19.85
         LON(NP)=-90.53
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'698') THEN
         NP=62
*        LAT(NP)=
*        LON(NP)=
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'723') THEN
         NP=63
         LAT(NP)=18.83
         LON(NP)=-111.00
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'726') THEN
         NP=64
*        LAT(NP)=
*        LON(NP)=
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'737') THEN
         NP=65
         LAT(NP)=18.85
         LON(NP)=-97.10
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'741') THEN
         NP=66
         LAT(NP)=18.15
         LON(NP)=-94.42
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'743') THEN
         NP=67
*        LAT(NP)=
*        LON(NP)=
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'750') THEN
         NP=68
         LAT(NP)=18.50
         LON(NP)=-88.30
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'762') THEN
         NP=69
         LAT(NP)=17.55
         LON(NP)=-99.50
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'773') THEN
         NP=70
*        LAT(NP)=
*        LON(NP)=
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'775') THEN
         NP=71
         LAT(NP)=17.07
         LON(NP)=-96.72
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'805') THEN
         NP=72
         LAT(NP)=16.83
         LON(NP)=-99.92
        ENDIF
        IF (NSTN.EQ.'833') THEN
         NP=73
```

```
            LAT(NP)=16.17
            LON(NP)=-95.20
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'840') THEN
            NP=74
*           LAT(NP)=
*           LON(NP)=
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'843') THEN
            NP=75
            LAT(NP)=16.75
            LON(NP)=-93.10
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'845') THEN
            NP=76
            LAT(NP)=16.73
            LON(NP)=-92.63
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'848') THEN
            NP=77
            LAT(NP)=16.25
            LON(NP)=-92.13
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'855') THEN
            NP=78
            LAT(NP)=15.70
            LON(NP)=-96.50
           ENDIF
           IF (NSTN.EQ.'903') THEN
            NP=79
            LAT(NP)=14.92
            LON(NP)=-92.27
           ENDIF

*****************************************************************************
*
*    LLENAMOS UNA MATRIZ CON INFORMACION DECODIFICADA PARA POSTERIORMENTE
*    IMPRIMIRLA, ADEMAS  OBTENEMOS  EL  VALOR  NUMERICO DE LOS PARAMETROS
*    PUESTO QUE TODO EL TIEMPO, EL PROGRAMA LOS TRABAJA COMO  CADENAS  DE
*    CARACTERES

          INFORME(NP,2)=TAD5//SP
          IF (TAD5.NE.'-9999'.AND.TAD5.NE.'     ') THEN
          CEN=ICHAR(TAD5(2:2))
          CENTENA=CEN-48
          DEC=ICHAR(TAD5(3:3))
          DECENA=DEC-48
          UNI=ICHAR(TAD5(5:5))
          UNIDAD=UNI-48
          ITAD5=CENTENA*100+DECENA*10+UNIDAD
          NQ=10*(IDIA-1)+2
          ESTACION(NP,NQ)=ITAD5
         ELSE
          ESTACION(NP,NQ)=0
         ENDIF
         INFORME(NP,8)=N//SP
         INFORME(NP,9)=DIRECCION//SP
         INFORME(NP,10)=INTENSIDAD//SP
         INFORME(NP,3)=TRD5//SP
         IF (TRD5.NE.'-9999'.AND.TRD5.NE.'     ') THEN
```

```
       CEN=ICHAR(TRD5(2:2))
       CENTENA=CEN-48
       DEC=ICHAR(TRD5(3:3))
       DECENA=DEC-48
       UNI=ICHAR(TRD5(5:5))
       UNIDAD=UNI-48
       ITRD5=CENTENA*100+DECENA*10+UNIDAD
       NQ=10*(IDIA-1)+3
       ESTACION(NP,NQ)=ITRD5
      ELSE
       ESTACION(NP,NQ)=0
      ENDIF
      INFORME(NP,6)=PSD6//SP
      IF (PSD6.NE.'-9999'.AND.PSD6.NE.'     ') THEN
       DMIL=ICHAR(PSD6(1:1))
       DMILES=DMIL-48
       MIL=ICHAR(PSD6(2:2))
       MILES=MIL-48
       CEN=ICHAR(PSD6(3:3))
       CENTENA=CEN-48
       DEC=ICHAR(PSD6(4:4))
       DECENA=DEC-48
       UNI=ICHAR(PSD6(6:6))
       UNIDAD=UNI-48
       IPSD6=DMILES*10000+MILES*1000+CENTENA*100+DECENA*10+UNIDAD
       NQ=10*(IDIA-1)+6
       ESTACION(NP,NQ)=IPSD6
      ELSE
       ESTACION(NP,NQ)=0
      ENDIF
      INFORME(NP,7)=PMD6//SP
      IF (PMD6.NE.'-9999'.AND.PSD6.NE.'     ') THEN
       DMIL=ICHAR(PMD6(1:1))
       DMILES=DMIL-48
       MIL=ICHAR(PMD6(2:2))
       MILES=MIL-48
       CEN=ICHAR(PMD6(3:3))
       CENTENA=CEN-48
       DEC=ICHAR(PMD6(4:4))
       DECENA=DEC-48
       UNI=ICHAR(PMD6(6:6))
       UNIDAD=UNI-48
       IPMD6=DMILES*10000+MILES*1000+CENTENA*100+DECENA*10+UNIDAD
       NQ=10*(IDIA-1)+7
       ESTACION(NP,NQ)=IPMD6
      ELSE
       ESTACION(NP,NQ)=0
      ENDIF
      TAD5='     '
      TRD5='     '
      PSD6='      '
      PMD6='      '
      N=' '
      DIRECCION='        '
      INTENSIDAD='     '
      GOTO 51
56    INFORME(NP,4)=TXD5//SP
      IF (TXD5.NE.'-9999'.AND.TXD5.NE.'     ') THEN
       CEN=ICHAR(TXD5(2:2))
       CENTENA=CEN-48
```

```
 DEC=ICHAR(TXD5(3:3))
 DECENA=DEC-48
 UNI=ICHAR(TXD5(5:5))
 UNIDAD=UNI-48
 ITXD5=CENTENA*100+DECENA*10+UNIDAD
 NQ=10*(IDIA-1)+4
 ESTACION(NP,NQ)=ITXD5
ELSE
 ESTACION(NP,NQ)=0
ENDIF
INFORME(NP,5)=TND5//SP
IF (TND5.NE.'-9999'.AND.TND5.NE.'     ') THEN
 CEN=ICHAR(TND5(2:2))
 CENTENA=CEN-48
 DEC=ICHAR(TND5(3:3))
 DECENA=DEC-48
 UNI=ICHAR(TND5(5:5))
 UNIDAD=UNI-48
 ITND5=CENTENA*100+DECENA*10+UNIDAD
 NQ=10*(IDIA-1)+5
 ESTACION(NP,NQ)=ITND5
ELSE
 ESTACION(NP,NQ)=0
ENDIF
INFORME(NP,1)=PRD5//SP
IF (PRD5.NE.'-9999'.AND.PRD5.NE.'     ') THEN
 CEN=ICHAR(PRD5(2:2))
 CENTENA=CEN-48
 DEC=ICHAR(PRD5(3:3))
 DECENA=DEC-48
 UNI=ICHAR(PRD5(5:5))
 UNIDAD=UNI-48
 IPRD5=CENTENA*100+DECENA*10+UNIDAD
 NQ=10*(IDIA-1)+1
 ESTACION(NP,NQ)=IPRD5
ELSE
 ESTACION(NP,NQ)=0
ENDIF
TXD5='     '
TND5='     '
PRD5='     '
NP=0
GOTO 51

************************************************************************
*
*   MANDAMOS TODA LA INFORMACION DECODIFICADA AL ARCHIVO TAB_COM
*
92      PRINT 910,NMS
910     FORMAT (' Se decodificaron : ',I4,' mensajes ')
*
        WRITE (3,34,IOSTAT=K) SP
34      FORMAT ('  AA MM DD HR  No.   PCPN    TA      TR      TX      TN
     1PSTN      PNMM     NUBES     DIRECC    INTEN')
*
        WRITE(3,*)
*
        ANIOB=ANIO//' '
        NMESB=NMES//' '
        CDDB=CDD//' '
```

```
        DO 19,NR=1,79
         WRITE (3,33,IOSTAT=K) ANIOB,NMESB,CDDB,CHH,NOMBRE(NR),
     1(INFORME(NR,I),I=1,10)
*
*****************************************************************************
*
*   LLENAMOS EL ARCHIVO DAT_MAP CON INFORMACION DEL PARAMETRO
*   DECODIFICADO QUE SE SELECCIONO PARA EL TRAZADO DE  LOS  MAPAS DE
*   ISOLINEAS
*
         IF (LAT(NR).NE.0.0.AND.INFORME(NR,ELECCION).NE.'-9999') THEN
          WRITE (5,36,IOSTAT=K)LAT(NR),' ',LON(NR),',',
     1(INFORME(NR,ELECCION))
         ENDIF
19      CONTINUE
33      FORMAT ('  ',4A,7A7,'     ',10A,'     ',10A,'      ',10A)
36      FORMAT(F6.2,A1,F7.2,A1,10A)

        IF (K.NE.0) GOTO 99
*
314     CONTINUE
313   CONTINUE
*
*****************************************************************************
*
*   CREAMOS EL ARCHIVO EN EL QUE SE ALMACENARA INFORMACION RELACIONADA
*   CON  LAS  TENDENCIAS  Y  "COMPORTAMIENTO ESTADISTICO" DE LOS DATOS
*   DECODIFICADOS

*     OPEN(5,FILE='C:DESCRIPT.SAL',IOSTAT=K,ACCESS='SEQUENTIAL',
*     1FORM='FORMATTED')
*     IF (K.NE.0) GOTO 99
*
*      DO 315,RENGLON=1,79
*      WRITE(5,36,IOSTAT=K) (ESTACION(RENGLON,COLUMNA),COLUMNA=1,25)
*36    FORMAT(25(I5))
*315   CONTINUE
*      IF (K.NE.0) GOTO 99
*
*
*      DO 517,REN=1,79
*        NOCERO=0
*        SUBTOTAL=0
*        SUBTOTAL1=0
*        DO 501,CONTADOR=1,31
*        MED10=ESTACION(REN,10*CONTADOR-8)
*        IF (MED10.NE.0) THEN
*          NOCERO=NOCERO+1
*          SUBTOTAL=SUBTOTAL+MED10
*501     ENDIF
*      IF (NOCERO.NE.0) THEN
*       MEDI=LOG(SUBTOTAL)-LOG(10*NOCERO)
*       MEDIA(REN)=EXP(MEDI)
*      ELSE
*       MEDIA(REN)=0
*      ENDIF
*
*      DO 502,CONTADOR=1,31
*      IF (ESTACION(REN,10*CONTADOR-8).NE.0) THEN
*       VAR10=(ESTACION(REN,10*CONTADOR-8)-10*MEDIA(REN))**2
```

```
*        VARI10=LOG(VAR10)-LOG(100)
*        VARIA10=EXP(VARI10)
*        SUBTOTAL1=SUBTOTAL1+VARIA10
*502    ENDIF
*       IF (NOCERO.GT.1) THEN
*         VARI=LOG(SUBTOTAL1)-LOG(NOCERO-1)
*       ENDIF
*       IF (NOCERO.EQ.1) THEN
*         VARI=LOG(SUBTOTAL1)-LOG(NOCERO)
*       ENDIF
*       IF (NOCERO.NE.0) THEN
*        VARIANZA(REN)=EXP(VARI)
*       ENDIF
*       IF (NOCERO.EQ.0) THEN
*        VARIANZA(REN)=0
*       ENDIF
*517    CONTINUE
*
*       WRITE(5,513) ' ESTACION',' HORA',' MEDIA',' VARIANZA '
*513    FORMAT(10A,10A,11A,16A)
*       DO 510,APUN=1,79
*        WRITE(5,519) NOMBRE(APUN)
*519    FORMAT(10A)
*        DO 512,JDIA=1,8
*         SELECT CASE(JDIA)
*            CASE(1)
*             CHH1='00'
*            CASE(2)
*             CHH1='03'
*            CASE(3)
*             CHH1='06'
*            CASE(4)
*             CHH1='09'
*            CASE(5)
*             CHH1='12'
*            CASE(6)
*             CHH1='15'
*            CASE(7)
*             CHH1='18'
*            CASE(8)
*             CHH1='21'
*         END SELECT
*         WRITE(5,'(A5,3X,F6.2,3X,F4.2)')
*     +        CHH1,MEDIA(APUN),VARIANZA(APUN)
*514      FORMAT(2A,5X,2F7.2)
*512     CONTINUE
*510    CONTINUE
*
*
*       DUMMY2 = SETVIDEOMODE($ERESCOLOR)
*       CALL MOVETO(80,50,xy)
*       DUMMY = LINETO(80,200)
*       DUMMY = LINETO(240,200)
*       CALL MOVETO(79,50,xy)
*       DUMMY = LINETO(79,201)
*       DUMMY = LINETO(240,201)
*       DUMMY2 = SETCOLOR(4)
*       DO 516,I=1,NOCERO
*        J=30*I+60
*        K=30*I+80
```

```
*  L=400-ESTACION(9,10*I-8)
*516   DUMMY2 = RECTANGLE($GFILLINTERIOR,J,L,K,200)
*       READ(*,*)
*       DUMMY = SETVIDEOMODE($DEFAULTMODE)
*
*       WRITE(3,31) RESET
      WRITE(*,*)
      WRITE(*,*)
      PRINT 370,'          PROGRAMA TERMINADO SIN ERROR '
370   FORMAT(60A)
      GOTO 103
99    WRITE(*,*)
      WRITE(*,*)
      PRINT 371,'         || ERROR !! , NO SE PUEDE ABRIR EL ARCHIVO    '
      PRINT 371,'        VERIFICAR QUE DIRECTORIOS O ARCHIVOS EXISTAN '
371   FORMAT (80A)
103   CLOSE(1)
      CLOSE(3)
      END
```

```
***********************************************************************
*PROGRAMA DE INTERPOLACION (INTERP1.FOR): LEE DATOS DEL ARCHIVO DAT_MAP
* (GENERADO POR EL PROGRAMA DE DECODIFICACION) Y ENVIA COMO SALIDA
* DATOS INTERPOLADOS ALMACENADOS EN UNA MATRIZ O EN FORMA DE LISTA AL
* ARCHIVO PRO_INT CON INFORMACION ADICIONAL REFERENTE A LA
* UBICACION GEOGRAFICA DE LA VARIABLE ESTIMADA.
*
*    SE UTILIZA UN ALGORITMO SIMPLIFICADO DEL METODO DE INVERSO
*    DE LAS DISTANCIAS ANTERIORMENTE EXPUESTO:
*
*      NO SE CONSIDERA NINGUN RADIO DENTRO DEL CUAL SE BUSCARAN
*      "TODOS" LOS PUNTOS CERCANOS (PUNTOS SOPORTE O PUNTOS
*      INTERPOLADOS). INVARIABLEMENTE, PARA CADA PUNTO QUE SE
*      DESEA ESTIMAR SE UTILIZAN A LO MAS CUATRO VALORES:
*
*      EL MAS CERCANO HACIA ARRIBA DEL PUNTO EN CUESTION, EL
*      MAS CERCANO HACIA ABAJO, EL MAS CERCANO HACIA LA
*      IZQUIERDA Y EL MAS CERCANO HACIA LA DERECHA.
*
*
*
*                        X
*                       XÜ  O  O  O  O  X
*                        O
*                        O
*                        O
*                        O
*                        X
*
*
*
*              Ü   VALOR QUE SE DESEA ESTIMAR
*              O   DATOS DESCONOCIDOS QUE TAMBIEN SERAN ESTIMADOS
*              X   VALORES CONOCIDOS
*
*
*
*      ESTO INDISCUTIBLEMENTE HACE QUE LA APROXIMACION OBTENIDA
*      SEA MUY BRUSCA. SIN EMBARGO, EN REALIDAD, LO EXACTO O
*      ERRONEO DE LAS ESTIMACIONES DEPENDE CONSIDERABLEMENTE DE
*      DE LA DISTRIBUCION DE LOS PUNTOS SOPORTE.
*
*
      CHARACTER        COMMA
      INTEGER          RENG,COL,I,J,K,N,L,M,TEMP1,TEMP2,TEMP3
      INTEGER          COUNT,TEMP4, LAT,LONG,SUMDIST
      REAL             LONGITUD,LATITUD,Z
      REAL*4           INTERP,IMAGEN,MATRIZ
      DIMENSION        MATRIZ(20,-36)
      DIMENSION        Z(4)

***********************************************************************
*  PROGRAMA PRINCIPAL
***********************************************************************
      DO 30,L=0,20
       DO 40,M=0,-36
        MATRIZ(L,M)=0
40     CONTINUE
30    CONTINUE
      OPEN(2,FILE='C:PRO_INT')
```

```
      OPEN(1,FILE='C:DAT_MAP',IOSTAT=K,ACCESS='SEQUENTIAL',
     1FORM='FORMATTED')
      IF (K.NE.0) GOTO 99
100   READ(1,20,IOSTAT=N,END=92) LATITUD,LONGITUD,COMMA,IMAGEN
20    FORMAT(F6.2,F7.2,A2,F5.2)
      IF (N) 92,53,99
53    I=INT(LATITUD)-13
      J=INT(LONGITUD)+85
      MATRIZ(I,J)=IMAGEN
      GOTO 100
92    DO 50,L=0,20
        WRITE(*,70,IOSTAT=K) (MATRIZ(L,M),M=-34,0)
70      FORMAT(35(F4.1))
50    CONTINUE
      WRITE(*,*)' '
      WRITE(*,*)' '

      DO 200,RENG=1,19
       DO 300,COL=1,33
        CALL TOFIX(MATRIZ,RENG,COL,TEMP2)
        CALL LOOKUP(TEMP1,MATRIZ,RENG,COL,LAT,LONG)
        CALL LOOKDOWN(TEMP2,MATRIZ,RENG,COL,Z,LAT,LONG)
        CALL LOOKLEFT(TEMP3,MATRIZ,RENG,COL,Z,LAT,LONG)
        CALL LOOKRIGHT(TEMP4,MATRIZ,RENG,COL,Z,LAT,LONG)
        CALL CALCULATE(LAT,LONG,Z,MATRIZ,RENG,COL,SUMDIST,INTERP)
300    CONTINUE
200   CONTINUE
*
      DO 55, L=0,20
55     WRITE(*,70,IOSTAT=K) (MATRIZ(L,M),M=-34,0)

      STOP
99    END

***************************************************************************

      SUBROUTINE TOFIX(MATRIZ,RENG,COL,TEMP2)

*
*  SUBRUTINA QUE UBICA LAS CASILLAS VACIAS Y EN LAS QUE SE DEBE DE ESTIMAR
*  EL  VALOR DE LA VARIABLE. TAMBIEN SE OBTIEN SUS COORDENADAS GEOGRAFICAS
*  (LATITUD Y LONGITUD)
*

       INTEGER          RENG,COL,L,M,TEMP1,TEMP2,TEMP3,TEMP4
       INTEGER          SUMDIST,LAT,LONG,D
       REAL             MATRIZ,INTERP,Z
       DIMENSION        MATRIZ(20,-36)
       DIMENSION        LAT(5),LONG(5)
       DIMENSION        Z(4)
       DIMENSION        D(8)

        IF (MATRIZ(RENG,COL-34).EQ.0) THEN
         DO 56,L=1,5
          LAT(L)=0
56        LONG(L)=0
          DO 58,L=1,4
58         Z(L)=0
```

```
        DO 57,M=1,8
57        D(M)=0
*
       TEMP1=RENG
       TEMP2=RENG
       TEMP3=COL-34
       TEMP4=COL-34
       LAT(1)=-RENG+33
       LONG(1)=COL-34-85
       SUMDIST=0
       INTERP=0.0
      ENDIF
     RETURN
     END

*****************************************************************************

      SUBROUTINE LOOKUP(TEMP1,MATRIZ,RENG,COL,LAT,LONG)

*
*   SUBRUTINA QUE BUSCA EL PUNTO MAS CERCANO HACIA ARRIBA DE LA CABILLA
*   QUE  SE  DESEA  ESTIMAR,  ESTE VALOR SERA GUARDADO EN UN ARREGLO DE
*   LONGITUD 4. TAMBIEN SE OBTIENEN    SUS    CORDENADAS     GEOGRAFICAS
*   ( LATITUD Y LONGITUD )  PARA    PODER     CALCULAR,  POSTERIORMENTE,
*   LA DISTANCIA ENTRE  AMBOS  PUNTOS  (EL ESTIMADO Y EL ENCONTRADO)  Y
*   UTILIZARLA COMO COCIENTE.
*

      INTEGER       TEMP1,RENG,COL,LAT,LONG
      REAL          MATRIZ,Z
      DIMENSION     LAT(5),LONG(5)
      DIMENSION     Z(4)
      DIMENSION     MATRIZ(20,-36)


       TEMP1=TEMP1-1
       IF (MATRIZ(TEMP1,COL-34).NE.0) THEN
        Z(1)=MATRIZ(TEMP1,COL-34)
        LAT(2)=-TEMP1+33
        LONG(2)=COL-34-85
       ENDIF
       DO WHILE(MATRIZ(TEMP1,COL-34).EQ.0.AND.TEMP1.GT.0)
        TEMP1=TEMP1-1
        IF (MATRIZ(TEMP1,COL-34).NE.0) THEN
         Z(1)=MATRIZ(TEMP1,COL-34)
         LAT(2)=-TEMP1+33
         LONG(2)=COL-34-85
         TEMP1=0
        ENDIF
       ENDDO
     RETURN
     END

*****************************************************************************

     SUBROUTINE LOOKDOWN(TEMP2,MATRIZ,RENG,COL,Z,LAT,LONG)
```

```
*
*   SUBRUTINA QUE BUSCA EL PUNTO MAS CERCANO HACIA ABAJO  DE LA CASILLA
*   QUE SE DESEA ESTIMAR,  ESTE VALOR SERA GUARDADO EN UN ARREGLO DE
*   LONGITUD 4. TAMBIEN SE OBTIENEN   SUS    CORDENADAS    GEOGRAFICAS
*   ( LATITUD Y LONGITUD )  PARA   PODER   CALCULAR, POSTERIORMENTE,
*   LA DISTANCIA ENTRE  AMBOS  PUNTOS  (EL ESTIMADO Y EL ENCONTRADO)  Y
*   UTILIZARLA COMO COCIENTE.
*

        INTEGER       TEMP2,RENG,COL,LAT,LONG
        REAL          MATRIZ,Z
        DIMENSION     Z(4)
        DIMENSION     LAT(5),LONG(5)
        DIMENSION     MATRIZ(20,-36)

         TEMP2=TEMP2+1
         IF (MATRIZ(TEMP2,COL-34).NE.0) THEN
          Z(2)=MATRIZ(TEMP2,COL-34)
          LAT(3)=-TEMP2+33
          LONG(3)=COL-34-85
         ENDIF
         DO WHILE(MATRIZ(TEMP2,COL-34).EQ.0.AND.TEMP2.LT.20)
          TEMP2=TEMP2+1
          IF (MATRIZ(TEMP2,COL-34).NE.0) THEN
           Z(2)=MATRIZ(TEMP2,COL-34)
           LAT(3)=-TEMP2+33
           LONG(3)=COL-34-85
           TEMP2=20
          ENDIF
         ENDDO
        RETURN
        END
*******************************************************************

       SUBROUTINE LOOKLEFT(TEMP3,MATRIZ,RENG,COL,Z,LAT,LONG)

*
*   SUBRUTINA QUE BUSCA EL PUNTO MAS CERCANO HACIA LA IZQUIERDA  DE   LA
*   CASILLA QUE SE DESEA ESTIMAR, ESTE VALOR SERA GUARDADO EN UN ARREGLO
*   DE LONGITUD 4. TAMBIEN SE OBTIENEN SUS    CORDENADAS    GEOGRAFICAS
*   ( LATITUD Y LONGITUD )  PARA   PODER  CALCULAR, POSTERIORMENTE,   LA
*   DISTANCIA ENTRE     AMBOS  PUNTOS  (EL ESTIMADO Y EL ENCONTRADO)    Y
*   UTILIZARLA COMO COCIENTE.
*

        INTEGER       TEMP3,RENG,COL,LAT,LONG
        REAL          MATRIZ,Z
        DIMENSION     MATRIZ(20,-36)
        DIMENSION     LAT(5),LONG(5)
        DIMENSION     Z(4)

         TEMP3=TEMP3-1
101      IF (MATRIZ(RENG,TEMP3).NE.0) THEN
          Z(3)=MATRIZ(RENG,TEMP3)
          LAT(4)=-RENG+33
```

```
     LONG(4)=TEMP3-85
    ELSE
     IF (TEMP3.GT.-33) THEN
      TEMP3=TEMP3-1
      GOTO 101
     ENDIF
    ENDIF
   RETURN
   END
```

```
******************************************************************************

      SUBROUTINE LOOKRIGHT(TEMP4,MATRIZ,RENG,COL,Z,LAT,LONG)

*
*   SUBRUTINA QUE BUSCA EL PUNTO MAS CERCANO HACIA LA DERECHA   DE  LA
*   CASILLA QUE SE DESEA ESTIMAR, ESTE VALOR SERA GUARDADO EN UN ARREGLO
*   DE LONGITUD 4. TAMBIEN SE OBTIENEN SUS   CORDENADAS   GEOGRAFICAS
*   ( LATITUD Y LONGITUD )  PARA   PODER  CALCULAR, POSTERIORMENTE,  LA
*   DISTANCIA ENTRE   AMBOS  PUNTOS  (EL ESTIMADO Y EL ENCONTRADO)  Y
*   UTILIZARLA COMO COCIENTE.
*

      INTEGER       TEMP4,RENG,COL,LAT,LONG
      REAL          MATRIZ,Z
      DIMENSION     MATRIZ(20,-36)
      DIMENSION     LAT(5),LONG(5)
      DIMENSION     Z(4)


        TEMP4=TEMP4+1
        IF (MATRIZ(RENG,TEMP4).NE.0) THEN
         Z(4)=MATRIZ(RENG,TEMP4)
         LAT(5)=-RENG+33
         LONG(5)=TEMP4-85
        ENDIF
        DO WHILE(MATRIZ(RENG,TEMP4).EQ.0.AND.TEMP4.LE.-1)
         TEMP4=TEMP4+1
         IF (MATRIZ(RENG,TEMP4).NE.0) THEN
          Z(4)=MATRIZ(RENG,TEMP4)
          LAT(5)=-RENG+33
          LONG(5)=TEMP4-85
          TEMP4=0
         ENDIF
        ENDDO
       RETURN
       END

******************************************************************************

       SUBROUTINE CALCULATE(LAT,LONG,Z,MATRIZ,RENG,COL,SUMDIST,INTERP)

*
*  SUBRUTINA EN LA  QUE SE HACEN LOS CALCULOS UTILIZANDO LA INFORMACION
*  PROPORCIONADA POR  LOS PROCEDIMIENTOS ANTERIORES
*
```

```
      INTEGER        LAT,LONG,P,Q,RENG,COL,D,SUMDIST
      REAL           Z,MATRIZ,INTERP
      DIMENSION      MATRIZ(20,-36)
      DIMENSION      LAT(5),LONG(5)
      DIMENSION      Z(4),D(8)

*
*     HACEMOS EL CALCULO DE LAS DISTANCIAS: LA DIFERENCIA DE
*     LATITUDES ENTRE EL PUNTO ENCONTRADO ARRIBA Y EL QUE SE
*     QUERIA ESTIMAR, LA DIFERENCIA DE LATITUDES ENTRE EL
*     PUNTO ENCONTRADO ABAJO Y EL QUE SE QUERIA ESTIMAR,
*     LA DIFERENCIA DE LONGITUDES ENTRE EL PUNTO ENCONTRADO
*     A LA IZQUIERDA Y EL QUE SE QUERIA ESTIMAR Y LA
*     DIFERENCIA DE LONGITUDES ENTRE EL PUNTO ENCONTRADO A
*     LA DERECHA Y EL QUE SE QUERIA ESTIMAR. CADA UNA DE
*     ESTAS DIFERENCIAS SE ELEVA AL CUADRADO.
*
       IF (LAT(2).NE.0) THEN
        D(1)=(LAT(2)-LAT(1))**2
       ENDIF
       IF (LAT(3).NE.0) THEN
        D(2)=(LAT(1)-LAT(3))**2
       ENDIF
       IF (LONG(4).NE.0) THEN
        D(3)=(LONG(1)-LONG(4))**2
       ENDIF
       IF (LONG(5).NE.0) THEN
        D(4)=(LONG(5)-LONG(1))**2
       ENDIF
*
       IF (D(1).NE.0) THEN
        D(5)=1/D(1)
       ENDIF
       IF (D(2).NE.0) THEN
        D(6)=1/D(2)
       ENDIF
       IF (D(3).NE.0) THEN
        D(7)=1/D(3)
       ENDIF
       IF (D(4).NE.0) THEN
        D(8)=1/D(4)
       ENDIF

*     SUMAMOS LOS INVERSOS DE LAS DISTANCIAS

       DO 52,P=5,8
52      SUMDIST=SUMDIST+D(P)
       DO 54,Q=1,4

*     CALCULAMOS EL NUMERADOR

        IF (D(Q).NE.0) THEN
        INTERP=INTERP+(Z(Q)/D(Q))
54      ENDIF


*     CALCULAMOS EL VALOR INTERPOLADO Y SE LO ASIGNAMOS A LA
*     VARIABLE CORRESPONDIENTE

       IF (SUMDIST.NE.0) THEN
```

```
  MATRIZ(RENG,COL-34)=INTERP/SUMDIST
  WRITE(2,*)-RENG+34,COL-119,MATRIZ(RENG,COL-34)
 ENDIF
RETURN
END
```

****

```
* PROGRAMA DE INTERPOLACION (INTER222.FOR): SINTESIS FINAL DE VARIAS IDEAS
*  SE SIGUE UTILIZANDO EL ALGORITMO  DE BUSQUEDA EN ESPIRAL PERO AHORA SOLO
*  SE TOMAN EN CUENTA PARA LAS ESTIMACIONES A LOS DATOS INICIALES, ES DECIR
*  LA INFORMACION QUE PAULATINAMENTE  SE  VA  GENERANDO  EN CADA UNA DE LAS
*  CELDAS DE LA MATRIZ (MALLA) NO INTERVIENE EN EL PROCESO DE INTERPOLACION
*  DE LAS CASILLAS POSTERIORES
*
*  UTILIZAMOS  POR  LO  TANTO,  DOS  MATRICES:  UNA DE TRABAJO Y LA OTRA DE
*  ESCRITURA  EN  LA  PRIMERA UNICAMENTE SE ENCUENTRAN EMPLAZADOS LOS DATOS
*  INICIALES,  MIENTRAS QUE  EN  LA SEGUNDA VAMOS INCORPORANDO TAMBIEN,  EN
*  FORMA  PAULATINA  CADA UNA DE LAS ESTIMACIONES CALCULADAS.
*
*
*

       CHARACTER    COMMA
       REAL     SUMDIST,INTERP,D,SUMRECIPR
       INTEGER      LAT,LONG,DLON,DLAT
       INTEGER      I,J,K,L,M,N,COL,RENG,P,Q,ANT1,ANT2,STEEP
       INTEGER      PASO,PASO1,PASA,PASA1,RENORI,COLORI,LIM_ANT1,LIM_ANT2
       INTEGER      VECES,POT,POTEN,INCREM1,INCREM2,SUMANDO1,SUMANDO2,O,P1
       INTEGER      LIMITE,INDICE1,INDICE2,INDICE3,CONT,CONT1
       REAL     IMAGEN,MATRIZ1,MATRIZ2,Z,LATITUD,LONGITUD
       DIMENSION    MATRIZ1(22,35),MATRIZ2(22,35)
       DIMENSION    Z(100),D(100),LAT(100),LONG(100),DLAT(100),DLON(100)

*  INICIALIZAMOS LA MATRIZ

       STEEP=0
       DO 39,L=1,22
   DO 49,M=1,35
    MATRIZ1(L,M)=0.1
    MATRIZ2(L,M)=0
49 CONTINUE
39     CONTINUE

*   ABRIMOS ARCHIVOS DE ENTRADA Y SALIDA

       OPEN(4,file='c:tess.SAL')
       OPEN(2,FILE='C:tess.LIS')
       OPEN(1,FILE='C:dat_map',IOSTAT=K,ACCESS='SEQUENTIAL',
     1FORM='FORMATTED')
       IF (K.NE.0) GOTO 99

*   LEEMOS DEL ARCHIVO DE ENTRADA LOS DATOS NECESARIOS PARA LLENAR LA
*   MATRIZ

100    READ(1,27,IOSTAT=N,END=92) LATITUD,LONGITUD,COMMA,IMAGEN
27     FORMAT(F7.2,F6.2,A3,F8.1)
       IF (N) 92,53,99
53     I=35-INT(LATITUD)
       J=120-INT(LONGITUD)
       WRITE(*,21)' ',LATITUD,' ',LONGITUD,' ',IMAGEN
21     FORMAT(a1,F5.2,A1,F7.2,A1,F8.2)
       MATRIZ1(I,J)=IMAGEN
       MATRIZ2(I,J)=IMAGEN
       GOTO 100

92     DO 50,L=1,22
   WRITE(*,70,IOSTAT=K) (MATRIZ1(L,M),M=1,35)
```

```
70 FORMAT(35(F6.1))
50      CONTINUE

        WRITE(*,*)' '
        WRITE(*,*)' '

*    COMENZAMOS A RECORRER LAS ENTRADAS DE LA MATRIZ BUSCANDO LOCALIDADES
*    EN LAS QUE SI SEA NECESARIO ESTIMAR SU VALOR

        DO 200,RENG=2,21
   DO 300,COL=2,34

*
*    SI LA ENTRADA DE LA MATRIZ ESTA "VACIA", ES DECIR, SI AUN CONSERVA
*    SU VALOR DE INICIALIZACION, ENTONCES HAY QUE ESTIMAR SU VALOR, EN
*    CASO CONTRARIO NOS PASAMOS A LA SIGUIENTE ENTRADA.
*

     IF (MATRIZ1(RENG,COL).EQ.0.1) THEN
*
*    INICIALIZAMOS LAS VARIABLES AUXILIARES
*
      DO 56,L=1,100
       LAT(L)=0
56     LONG(L)=0
      DO 58,L=1,100
58     Z(L)=0
      DO 57,M=1,100
       D(M)=0
       DLAT(M)=0
57     DLON(M)=0
*
       SUMRECIPR=0
       INDICE1=1
       INDICE2=1
       LAT(INDICE2)=-RENG+35
       LONG(INDICE2)=-COL+120
       INDICE2=INDICE2+1
       SUMDIST=0.0
       INTERP=0.0

*********************************************************************
*    INICIA EL CODIGO QUE PERMITE QUE LA BUSQUEDA SEA EN ESPIRAL

       PASO=1
       PASA=0
       CONT=0
       CONT1=1
       PASA1=0
       RENORI=RENG
       COLORI=COL
       LIM_ANT1=RENORI
       LIM_ANT2=COLORI-1
       VECES=0

*    SI EL PUNTO A ESTIMAR  SE ENCUENTRA MUY A LA ORILLA, ENTONCES EL
*    RADIO DE BUSQUEDA REBASARA EN ALGUNAS DIRECCIONES LOS LIMITES DE
*    LA MATRIZ, ESTO  SE  TRADUCE EN QUE EL NUMERO DE PUNTOS QUE SEAN
*    CAPTURADOS POR  EL  RADIO SEA  MENOR  Y  POR  LO TANTO SE HACE
*    INDISPENSABLE DEFINIR UN RADIO MAYOR PARA INCLUIR MAS PUNTOS  EN
```

```
*    LA DIRECCION EN LA QUE LOS LIMITES DE LA MATRIZ NO SON REBASADOS
*

          IF (RENORI.LT.5.AND.COLORI.GT.28.OR.RENORI.LT.5.AND.COLORI
     1.LT.5.OR.RENORI.GT.14.AND.COLORI.GT.28.OR.RENORI.GT.14.AND.
     2COLORI.LT.5) THEN
      LIMITE=10
     ELSE
      LIMITE=8
     ENDIF
     DO 10,POT=1,LIMITE
      POTEN=(-1)**POT
      IF (PASA1.EQ.0) THEN
       INCREM1=0
       PASA1=1
      ELSE
       IF (PASA1.EQ.1) THEN
        INCREM1=1
        PASA1=2
       ENDIF
      ENDIF
      IF (INCREM1.LT.0) THEN
       INCREM1=-INCREM1
      ENDIF
      INCREM1=INCREM1+1
      IF (MOD(INCREM1,2).EQ.0) THEN
       INCREM1=INCREM1
      ELSE
       INCREM1=-INCREM1
      ENDIF
      IF (PASA.EQ.0) THEN
       INCREM2=-1
       PASA=1
      ELSE
       IF (PASA.EQ.1) THEN
        INCREM2=1
        PASA=2
       ENDIF
      ENDIF
      IF (INCREM2.LT.-1) THEN
       INCREM2=-INCREM2
      ENDIF
      INCREM2=INCREM2+1
      IF (MOD(INCREM2,2).EQ.0) THEN
       INCREM2=INCREM2
      ELSE
       INCREM2=-INCREM2
      ENDIF
*
*    ESTABLECEMOS LOS LIMITES DE VARIACION DE LOS INDICES QUE
*    RECORRERAN LA MATRIZ EN FORMA DE ESPIRAL. PRIMERA PARTE DE LA
*    BUSQUEDA.
*

500      DO 20,I=LIM_ANT1,LIM_ANT1+INCREM1,POTEN
       DO 30,J=LIM_ANT2+INCREM2,LIM_ANT2+INCREM2,POTEN
*
*    SI ESTAMOS EN UNA POSICION VALIDA DE LA MATRIZ ASIGNAMOS EL VALOR
```

```
*    ENCONTRADO A UNA VARIABLE AUXILIAR

        IF (I.GE.1.AND.I.LE.21.AND.J.GE.1.AND.
     1J.LE.34) THEN
         Z(INDICE1)=MATRIZ1(I,J)
*        write(2,'(f6.2)')z(indice1)
*
*    CALCULAMOS LAS DISTANCIAS A LOS PUNTOS ENCONTRADOS
*
         INDICE1=INDICE1+1
         LAT(INDICE2)=35-I
         LONG(INDICE2)=-J+120
         CONT1=CONT1+1
         INDICE2=INDICE2+1
        ENDIF
30     CONTINUE
20    CONTINUE


      VECES=VECES+1
      IF (MOD(POT,2).EQ.1) THEN
       O=I+1
       P=J+1
      ENDIF
      IF (MOD(POT,2).EQ.0) THEN
       O=I-1
       P=J-1
      ENDIF
      PASO=PASO+1
      PASO1=1
      SUMANDO1=0

*
*    ESTABLECEMOS  LOS  LIMITES   DE VARIACION  DE  LOS  INDICES  QUE
*    RECORRERAN LA MATRIZ EN FORMA DE ESPIRAL.  ULTIMA PARTE  DE LA
*    BUSQUEDA.
*
      DO 40,M=1,VECES
       IF (PASO1.NE.0) THEN
        SUMANDO2=(-1)**PASO
        PASO1=0
       ENDIF
       SUMANDO1=SUMANDO1+SUMANDO2
       P1=P+SUMANDO1

       IF (O.GE.1.AND.O.LE.21.AND.P1.GE.1.AND.
     1P1.LE.34) THEN
        Z(INDICE1)=MATRIZ1(O,P1)
*       write(2,'(f6.2)')z(indice1)
        INDICE1=INDICE1+1
*
*    CALCULAMOS LAS DISTANCIAS A CADA UNO DE LOS PUNTOS ENCONTRADOS
*
        LAT(INDICE2)=35-O
        LONG(INDICE2)=-P1+120
        CONT1=CONT1+1
        INDICE2=INDICE2+1

       ENDIF
```

```
40    CONTINUE

*
*   ACTUALIZAMOS LAS VARIALBES QUE NOS PERMITIRAN CONTINUAR CON LA
*   BUSQUEDA ES ESPIRAL
*
      LIM_ANT1=LIM_ANT1+INCREM1
      LIM_ANT2=LIM_ANT2+INCREM2
10   CONTINUE

*
*   TERMINA EL CODIGO QUE PERMITE QUE LA BUSQUEDA SEA EN ESPIRAL
*****************************************************************************


     DO 122,INDICE3=2,CONT1+1

      IF (Z(INDICE3-1).NE.0.1) THEN
       DLAT(INDICE3-1)=ABS(LAT(1)-LAT(INDICE3))
122       ENDIF

     DO 123,INDICE3=2,CONT1+1
     IF (Z(INDICE3-1).NE.0.1) THEN

      DLON(INDICE3-1)=ABS(LONG(1)-LONG(INDICE3))
123      ENDIF




*
*   CALCULAMOS LAS DISTANCIAS QUE EXISTEN ENTRE CADA UNO DE LOS PUNTOS
*   ENCONTRADOS CON RESPECTO A LA POSICION DE LA VARIABLE QUE SE DESEA
*   ESTIMAR
*
      DO 124,INDICE3=1,CONT1-1
       D(INDICE3)=((DLAT(INDICE3)**2+DLON(INDICE3)**2)**.5)**2
124      CONT=CONT+1
*
*   CALCULAMOS LOS INVERSOS DE   LAS DISTANCIAS Y  PAULATINAMENTE  LOS
*   VAMOS SUMANDO
*
      DO 125,INDICE3=1,CONT1
       IF (D(INDICE3).NE.0) THEN
       D(INDICE3)=1.0/D(INDICE3)
        SUMRECIPR=SUMRECIPR+D(INDICE3)
       ENDIF
125      CONTINUE

*****************************************************************************


      DO 52,P=1,CONT1
52     SUMDIST=SUMDIST+D(P)
*
*   CALCULAMOS EL NUMERADOR DE LA EXPRESION QUE NOS PERMITIRA ESTIMAR
*   LAS VARIABLES DESCONOCIDAS
*
      DO 54,Q=1,CONT1
       IF (D(Q).NE.0) THEN
```

```
      INTERP=INTERP+(Z(Q)*D(Q))
     ENDIF
54   CONTINUE
*
*    ASIGNAMOS A LA MATRIZ EN LA LOCALIDAD CORRESPONDIENTE EL VALOR
*    ESTIMADO, ESE MISMO NUMERO LO ESCRIBIMOS EN EL ARCHIVO PRO_INT
*    ACOMPAÑADO DE INFORMACION ADICIONAL QUE PERMITA SABER LA
*    LOCALIZALIZACION GEOGRAFICA PARA ESA VARIABLE.
*
     IF (SUMDIST.NE.0) THEN
      MATRIZ2(RENG,COL)=(INTERP/SUMDIST)
     ENDIF
*
    ELSE
     WRITE(*,*)'DIFERENTE DE CERO',RENG,COL,MATRIZ1(RENG,COL)
    ENDIF

300      CONTINUE
200     CONTINUE
*
*    CERRAMOS LOS CICLOS QUE PERMITEN RECORRER TODA LA MATRIZ
*
*************************************************************************
*
*    ESCRIBIMOS LA NUEVA MATRIZ, CON TODAS SUS VARIABLES ESTIMADAS
*
   DO 55, L=1,22
55 WRITE(4,70,IOSTAT=K) (MATRIZ2(L,M),M=1,35)

   DO 61, L=1,22
61 WRITE(4,70,IOSTAT=K) (MATRIZ1(L,M),M=1,35)

   WRITE(*,*)
   DO 62,L=2,21
   DO 63,M=2,34
63  WRITE(2,*)MATRIZ2(L,M)
62 CONTINUE

       CLOSE(1)
       CLOSE(2)
       CLOSE(4)
       STOP
99     END
```

```
***********************************************************************
*PROGRAMA QUE DIBUJA MAPAS (DIBMAP.FOR): LOS ARCHIVOS INDISPENSABLES PARA
* LA EJECUCION DEL PROGRAMA ESTAN CONSTITUIDOS  POR  PAREJAS DE  NUMEROS
* (LONGITUDES Y LATITUDES REALES) Y ESTOS SON REPMEX.BLN, PARA DIBUJAR EL
* CONTORNO DE LA REPUBLICA MEXICANA; PNTEEUU1.POS, PARA DIBUJAR LA PARTE
* ESTE DE EE.UU, CANADA, ETC.; Y PUNTEEUU.BAK PARA LA PARTE OESTE DE ESTA
* ULTIMA REGION.  OTRO ARCHIVO QUE TAMBIEN DESEMPEÑA UN PAPEL IMPORTANTE
* ES  DAT_MAP,  PUES  DE  EL  SE LEE LA INFORMACION NECESARIA PARA PODER
* DIBUJAR LA UBICACION DE LOS OBSERVATORIOS O BIEN, CON ALGUNAS PEQUEÑAS
* MODIFICACIONES AL CODIGO PRESENTADO, PLASMAR EN LA PANTALLA  EL  VALOR
* NUMERICO DEL PARAMETRO DECODIFICADO.
* EN  REALIDAD  SE PUEDEN   IMPLEMENTAR  DIVERSAS  VARIACIONES,     PUES
* ADEMAS DE LO YA MENCIONADO, ES POSIBLE MODIFICAR EL TIPO DE PROYECCION
* UTILIZANDO LAS TRANSFORMACIONES ADECUADAS (A COORDENADAS RECTANGULARES
* POR EJEMPLO) O MEDIANTE UNA ADECUADA LECTURA DEL  ARCHIVO  PRODUCTO DE
* DECODI.FOR, PRO_INT, CUBRIR LOS MAPAS CON TODOS LOS VALORES  ESTIMADOS
*
*
        INCLUDE         'FGRAPH.FI'
        INCLUDE         'FGRAPH.FD'
        INTEGER*2       DUMMY,DUMMY2,ELECCION
        INTEGER*2       VECES,CONT,VENTANA


***********************************************************************
*       PROGRAMA PRINCIPAL
***********************************************************************

        CALL CLEARSCREEN($GCLEARSCREEN)
        DUMMY2=SETVIDEOMODE($ERESCOLOR)
        DUMMY=SETBKCOLOR($RED)
        DO 1,CONT=1,13
1        WRITE(*,*)
        VECES=1
        WRITE(*,'(A\)')'     MAPA DESEADO:    1) MEXICO    2) 4Î REGION  ? '
        READ(*,'(I1)')ELECCION
        IF (ELECCION.EQ.1) THEN
         VENTANA=1
         CALL DIBUJA("c:REPMEX.BLN",12,VENTANA,VECES)
         CALL DIVISION()
         CALL OBSERVAT()
        ELSE
         VENTANA=2
         CALL DIBUJA("C:REPMEX.BLN",12,VENTANA,VECES)
         CALL DIBUJA("PNTEEUU1.POS",13,VENTANA,VECES)
         CALL DIBUJA("PUNTEEUU.BAK",13,VENTANA,VECES)
         CALL DIVISION()
         CALL OBSERVAT()
        ENDIF
        READ(*,*)
        DUMMY = SETVIDEOMODE ($DEFAULTMODE)
        STOP
        END

***********************************************************************

        SUBROUTINE DIBUJA(ARCHIVO,TONE,VENTANA,VECES)

*   SUBRUTINA QUE: ESTABLECE LOS LIMITES DE LA VENTANA EN LA QUE SE HARAN
```

```
*  LOS DIBUJOS EN FUNCION A LA INFORMACION PROPORCIONADA POR EL USUARIO,
*  LEE LOS DATOS DE LOS ARCHIVOS CORRESPONDIENTES Y EFECTUA, ES ESTE
*  CASO, UNA TRANSFORMACION QUE EMULE EL "COMPORTAMINETO REAL" DE LA
*  SITUACION GEOGRAFICA DE LAS REGIONES PARA, FINALMENTE, DIBUJAR LOS
*  MAPAS SELECCIONADOS
*

      INCLUDE          'FGRAPH.FD'
      CHARACTER*1       COMMA
      CHARACTER*12      ARCHIVO
      REAL              LONG,LAT
      INTEGER*2         DUMMY4,I,DUMMY,VENTANA,VECES
      INTEGER*4         TONE
      REAL              LONGI,LATI
      RECORD /WXYCOORD/ XY

       IF (VECES.EQ.1) THEN
        DUMMY2=SETVIDEOMODE($ERESCOLOR)
        DUMMY3=SETBKCOLOR($blue)
        VECES=2
       ENDIF
       IF (VENTANA.EQ.1) THEN
        DUMMY=SETWINDOW(.TRUE.,-119.0,15.2,-82.0,35.2)
       ELSE
        DUMMY=SETWINDOW(.TRUE.,-135.0,12.0,-50.0,60.0)
       ENDIF
       OPEN(1,FILE=ARCHIVO)
       I=1
10     READ(1,11,END=99) LONG,COMMA,LAT
11     FORMAT(F8.3,A1,F8.4)
       LONGI=-100+(89-LAT)*(SIN((LONG+100)*3.14159/180))
       LATI=89-(89-LAT)*COS((LONG+100)*3.14159/180)
       DUMMY4=SETCOLOR(TONE)
       IF (I.EQ.1) THEN
        CALL MOVETO_W(LONGI,LATI,XY)
        I=I+1
       ELSE
        DUMMY = LINETO_W(LONGI,LATI)
       ENDIF
       GOTO 10
99     RETURN
       END

*******************************************************************

      SUBROUTINE DIVISION()

*  SUBRUTINA QUE LEE DEL ARCHIVO DIVIS.DAT, LA IFORMACION REFERENTE
*  A LA DIVISION GEOGRAFICA DEL LAS REGIONES CONSIDERADAS EN CUANTO
*  A LATITUDES Y LONGITUDES REALES SE REFIERE CON UN ESPACIAMIENTO
*  DE 5 GRADOS

      INCLUDE          'FGRAPH.FD'
      INTEGER           A,B
      REAL*4            TR1,TR2
      CHARACTER*1       COMMA

       OPEN(4,FILE='C:DIVIS.DAT')
70     READ(4,80,END=98) A,COMMA,B
80     FORMAT(I4,A1,I3)
```

```
          DUMMY4=SETCOLOR(15)
          TR1=-100+(90-B)*SIN((A+100)*3.14159/180)
          TR2=90-(90-B)*COS((A+100)*3.14159/180)
          DUMMY=SETPIXEL_W(TR1,TR2)
*         DUMMY=SETPIXEL_W(A,B)
          IF (MOD(B,5).EQ.0) THEN
           DO 90, K=1,90
           TR3=-100+(90-B)*SIN(((A+K)+100)*3.14159/180)
           TR4=90-(90-B)*COS(((A+K)+100)*3.14159/180)
90         DUMMY = SETPIXEL_W(TR3,TR4)
*90        DUMMY = SETPIXEL_W(A+K,B)
          ENDIF
          GOTO 70
98        RETURN
          END

**************************************************************************

      SUBROUTINE OBSERVAT()

*  SUBRUTINA QUE UTILIZA LA INFORMACION CONTENIDA EN EL ARCHIVO DAT_MAP
*  PARA DIBUJAR, EN UNA POSICION REAL, LOS  OBSERVATORIOS  QUE  PARA EL
*  DIA CONSIDERADO ENVIARON SUS MENSAJES SINOPTICOS
*

        INCLUDE    'FGRAPH.FD'
        REAL        TRLO,TRLA,LA,LO,PARAM
        RECORD      /WXYCOORD/ XY

98       DUMMY2=SETCOLOR(5)
         OPEN(6,FILE='C:DAT_MAP')
71       READ(6,*,END=96)  LA,LO,PARAM
*80      FORMAT(I4,A1,I3)
         TRLO=-100+(90-LA)*SIN((LO+100)*3.14159/180)
         TRLA=90-(90-LA)*COS((LO+100)*3.14159/180)
         DUMMY=ELLIPSE_W($GFILLINTERIOR,TRLO-.1,TRLA-.1,TRLO+.1,
     1TRLA+.1)

         GOTO71
96       RETURN
         END

**************************************************************************
```

(* PROGRAMA QUE GENERA LOS NUMEROS ALEATORIOS, DOMINIO, CONTRADOMINIO E IMAGEN, CON LOS QUE PROBAREMOS LA EFICIENCIA DEL METODO QUE IMPLEMENTAMOS *)

```
program numalea(input,output);
uses crt;
var
 x,y,x1,y1,xaux,yaux:real;
 z:double;
 i:integer;
 archivo,archivo1:text;

begin

  assign(archivo,'c:\surfer\6fun.dat');
  rewrite(archivo);
  assign(archivo1,'6fun1.sal');
  rewrite(archivo1);
  clrscr;
  for i:=1 to 80 do
   begin
     randomize;
     x:=2+random(32);
     y:=2+random(19);

     {z:=0.75*exp(-((9*(x-16)-2)*(9*(x-16)-2)+(9*(y-10)-2)*(9*(y-10)-2)
        +0.75*exp(-(9*(x-16)+1)*(9*(x-16)+1)/49-(9*(y-10)+1)/10)
        +0.50*exp(-((9*(x-16)-7)*(9*(x-16)-7)+(9*(y-10)-3)*(9*(y-10)-3)
        -0.20*exp(-((9*(x-16)-4)*(9*(x-16)-4))-((9*(y-10)-7)*(9*(y-10)-
    }
{   FUNCION 1   O.k.

       XAUX:=X/100;
       YAUX:=Y/100;
       z:=0.75*exp(-((9*xaux-2)*(9*xaux-2)+(9*yaux-2)*(9*yaux-2))/4)
          +0.75*exp(-(9*xaux+1)*(9*xaux+1)/49 - (9*yaux+1)/10)
          +0.50*exp(-((9*xaux-7)*(9*xaux-7)+(9*yaux-3)*(9*yaux-3))/4)
          -0.20*exp(-((9*xaux-4)*(9*xaux-4))-((9*yaux-7)*(9*yaux-7)));
}

{   FUNCION 3   O.k.

       z:=(1.25+ cos(5.4*(y-10)))/6*(1+(3*(x-16)-1)*(3*(x-16)-1));
}

{   FUNCION 2   O.k.

       if ( (exp(9*y-9*x)-exp(9*x-9*y)) <> 0 ) then
        begin
          z:=(1/9)* ((exp(9*y-9*x)+exp(9*x-9*y))/ (exp(9*y-9*x)-exp(9*x-
       end;
}

{   FUNCION 6   O.k.

       XAUX:=X/34;
       YAUX:=Y/21;
       z:=(1/9)*SQRT(64-81*((XAUX-0.5)*(XAUX-0.5)+(YAUX-0.5)*(YAUX-0.5))
```

}

```
        x1:=120-x;
        y1:=35-y;
        if z<0 then
         begin
           if ((x<=9) and (y<=9)) then
            writeln(archivo,'  ',y:3:2,'    ',x:2:2,',','  ',z:4:1)
           else
            if ((x<=9) and (y>9)) then
             writeln(archivo,' ',y:3:2,'    ',x:2:2,',','  ',z:4:1)
            else
             if ((x>9) and (y<=9)) then
              writeln(archivo,'  ',y:3:2,'    ',x:2:2,',','  ',z:4:1)
             else
              writeln(archivo,' ',y:3:2,'    ',x:2:2,',','  ',z:4:1);
         end
        else
         begin
           if ((x<=9) and (y<=9)) then
            writeln(archivo,'  ',y:3:2,'    ',x:2:2,',','  ',z:4:1)
           else
            if ((x<=9) and (y>9)) then
             writeln(archivo,' ',y:3:2,'    ',x:2:2,',','  ',z:4:1)
            else
             if ((x>9) and (y<=9)) then
              writeln(archivo,'  ',y:3:2,'    ',x:2:2,',','  ',z:4:1)
             else
              writeln(archivo,' ',y:3:2,'    ',x:2:2,',','  ',z:4:1);
         end;
        if z<0 then
         begin
           if (x1<=99)  then
            writeln(archivo1,' ',y1:3:2,'    ',x1:2:2,',','  ',z:4:1)
           else
            if (x1>99)  then
             writeln(archivo1,' ',y1:3:2,'    ',x1:2:2,',','  ',z:4:1)
         end
        else
         begin
           if (x1<=99) then
            writeln(archivo1,' ',y1:3:2,'    ',x1:2:2,',','  ',z:4:1)
           else
            if (x1>99) then
             writeln(archivo1,' ',y1:3:2,'    ',x1:2:2,',','  ',z:4:1)
         end;
        writeln(' ',y:2:2,'   ',x:3:2,' ',z:5:2);
        delay(100)
      end;
     close(archivo);
     close(archivo1);
    end.
```

```
* PROGRAMA QUE DA FORMATO A UNO DE LOS ARCHIVOS RESULTADO DE INTERP2.FOR
* PARA QUE PUEDA SER LEIDO POR SURFER Y SE PUEDA GENERAR EL MAPA DE ISO-
* LINEAS. (PROGRAMA QUE A PARTIR DE LOS DATOS QUE INTERPOLAMOS ARMA  EL
* "ARCHIVO-MALLA" (GREED) QUE SURFER RECONOCE PARA TRAZAR LAS ISOLINEAS.

      integer k,j
      real  imagen,min,max
      dimension imagen(800)

      k=1
      j=0
      m=1
      min=100.0
      max=0.0
      open(2,file='C:\SURFER\funcion.GRD')
      open(1,file='funcion.LIS')
1     read(1,*,end=99)imagen(k)

10    format(f8.2)
      WRITE(*,*)'VALORES DE IMAGEN K ',IMAGEN(K)
      if (imagen(k).le.min) then
       min=imagen(k)
      endif
      if (imagen(k).ge.max) then
       max=imagen(k)
      endif
      k=k+1
      goto 1

99     write(2,16)'DSAA'
       write(2,*)'   33  20'
       write(2,*)' -118 -86'
       write(2,*)'   14  33'
       write(2,19)' ',MIN,MAX
16     FORMAT(A4)
19     FORMAT(A3,F6.2,F6.2)

      do while(m.le.66)
       write(2,20)(imagen(k+j),k=1,10)
       if (mod(m,3).eq.0) then
        write(2,*)' '
       endif
20     format(10f10.2)
       j=j+10
       m=m+1
      enddo

      write(*,*)'este es el minimo  ',min
      write(*,*)'este es el maximo  ',max
      stop
      end
```

```
* PROGRAMA QUE LEE EL ARCHIVO DE DATOS INTERPOLADOS  POR  INTERP2.FOR  Y
* EL ARCHIVO DE DATOS INTERPOLADOS POR SURFER, RESTA CADA ESTIMACION CON
* SU CORRESPONDIENTE EN EL OTRO ARCHIVO Y  ARMA  LA  "MATRIZ DIFERENCIA"
* QUE HEMOS UTILIZADO PARA PROBAR LA EFICIENCIA  Y  BUEN  DESEMPEÑO  DEL
* PROGRAMA DE INTERPOLACION INTERP2.FOR.
*

   INTEGER     I,J,K,IN1,IN2
   REAL      MATRIZ,SUMDIF,DIFMIN,VECES
   REAL      VAL2,PATRON,DIF,DIFMAX,VECES1
   DIMENSION  MATRIZ(22,35)

   OPEN(1,FILE='arcos.LIS')
   OPEN(2,FILE='C:\SURFER\CONVarc.DAT')
   OPEN(3,FILE='DIFerenc.ias')
   OPEN(4,FILE='DIFarc.MAT')
   SUMDIF=0
   DIFMIN=10
   DIFMAX=0
   VECES=0
   VECES1=0

   DO 1,I=2,21
    DO 2,J=2,34

     READ(1,*)VAL2
     READ(2,*)IN1,IN2,PATRON
     DIF=ABS(PATRON-VAL2)
     IF (DIF.GT.2) THEN
      VECES=VECES+1
     ENDIF
     IF (DIF.GT.3) THEN
      VECES1=VECES1+1
     ENDIF
     IF (DIF.LE.DIFMIN) THEN
      DIFMIN=DIF
     ENDIF
     IF (DIF.GE.DIFMAX) THEN
      DIFMAX=DIF
     ENDIF
     SUMDIF=SUMDIF+DIF
     WRITE(3,*)IN1,IN2,DIF
     MATRIZ(I,J)=DIF
2    CONTINUE
1   CONTINUE
   DO 3,I=1,22
    WRITE(4,70,IOSTAT=K)(MATRIZ(I,J),J=1,35)
70  FORMAT(35(F4.1))
3   CONTINUE
   WRITE(4,*)' '
   WRITE(4,*)' '
   WRITE(4,*)' '
   WRITE(4,4)'     VALOR PROMEDIO DE LAS DIFERENCIAS      ',SUMDIF/660
   WRITE(4,4)'     DIFERENCIA MAXIMA                      ',DIFMAX
   WRITE(4,4)'     DIFERENCIA MINIMA                      ',DIFMIN
   WRITE(4,4)'     NUMERO DE VECES QUE LA DIFERENCIA > 2  ',VECES
   WRITE(4,4)'     NUMERO DE VECES QUE LA DIFERENCIA > 3  ',VECES1
```

```
4  FORMAT(A43,F10.7)
   STOP
   END
```

```
* PROGRAMA QUE A PARTIR DEL ARCHIVO DE DATOS INTERPOLADOS POR SURFER,
* ARMA UNA MATRIZ  PARA  TENER UNA REPRESENTACION COMPACTA DE ELLOS Y
* PODER HACER COMPARACIONES CON LA MATRIZ DE INTERPOLACIONES GENERADA
* POR INTER2.FOR.


        INTEGER         LONG,LAT,CONT
        REAL        MATRIZ,IMAGEN
        DIMENSION       MATRIZ(22,35)

        DO 39,L=1,22
    DO 49,M=1,35
     MATRIZ(L,M)=0
49      CONTINUE
39     CONTINUE
       CONT=0
       OPEN(1,FILE='C:\SURFER\FUNCONV.DAT')
       OPEN(2,FILE='FUNCONV.MAT')
1      READ(1,*,END=99)LONG,LAT,IMAGEN
       IF (LONG.GE.86.AND.LAT.GE.14) THEN
        LONG=120-LONG
        LAT=35-LAT
       ENDIF
       CONT=CONT+1
10     FORMAT(I2,I2,F7.1)
       WRITE(*,*)LONG,LAT,IMAGEN,CONT
       MATRIZ(LAT,LONG)=IMAGEN
       GOTO 1
99     DO 50,L=1,22
        WRITE(2,70,IOSTAT=K) (MATRIZ(L,M),M=1,35)
70      FORMAT(35(F5.1))
50     CONTINUE
       STOP
       END
```

BIBLIOGRAFIA

Dubrule O.,1983, Two Methods with different objetives: Splines and Kriging: Journal Mathematical Geology , V.15, pp.245-257.

Journel A., and Huijbregts, C.J.,1978,Mining Geostatistics: Academic Press, London.

G.S.Watson,1983,Smoothing and Interpolation by Kriging and with Splines: Journal Mathematical Geology, V.16, pp.601-615.

Franke Richard and Greg Nielsen,1979, Smooth Interpolation of Large Sets of Scattered Data, Naval Postgraduate School Technical Report, NPS-53-79-005

Franke Richard,1979, A Critical Comparison of Some Methods for Interpolation of Scattered Data, Naval Postgraduate School Technical Report, NPS-53-79-005

Brian D. Ripley, 1981, Spatial Statistics, John Wiley and Sons.

Sabin, M.A.,1985, Countouring, NATO A.S.I. On Fundamental Algorithms for Computer Graphics, Ilkley U.K.

Dowd. P.A.,1985, A Review of Geostatistical Techniques for Contouring, NATO A.S.I. On Fundamental Algorithms for Computer Graphics, Ilkley U.K.