



LA ESTRUCTURA ESPACIAL DE LA PRECIPITACION EN EL ANDEVALO Y LA SIERRA DE HUELVA

*Juan Mariano Camarillo Naranjo**
*Leoncio García Barrón***

** Dpto. de Geografía Física. Universidad de Sevilla*

*** Dpto de Física Aplicada. Universidad de Sevilla*

RESUMEN

La estructura de la variabilidad espacial de las precipitaciones en el espacio comprendido por el Andévalo onubense y la Sierra de Huelva es analizada en la presente comunicación. La importancia ambiental de dicha variable exige estudios más precisos en cuanto a su comportamiento sobre el territorio. Se aplica un modelo de regresión a partir de una serie de variables geográficas con el objetivo de encontrar un patrón de comportamiento espacial de las precipitaciones sobre la región.

PALABRAS CLAVE: precipitaciones, patrones espaciales, modelos de regresión, análisis de la varianza residual.

ABSTRACT

Rainfall spatial variability over de Andévalo and Sierra de Huelva region is analyzed in this study. The environmental importance of this variable requires more precised studies related to its behavior on the territory. A regression model is applied to the rainfall data searching a spatial pattern of the rainfall within the region.



KEY WORDS: rainfall spatial patterns, regression models, residual variance analysis.

1.- INTRODUCCIÓN

Los estudios relativos al comportamiento de la precipitación sobre cualquier ámbito regional considerado han sido desarrollados, en numerosas ocasiones, desde una perspectiva y un enfoque productivista, adoptando esta expresión «extractiva» del agua. Sin duda la precipitación supone el primer estadio en la conversión del agua en recurso natural desde una perspectiva de aprovechamiento de la misma. Pero también, fundamentalmente en los últimos 20 años, el agua no solo es considerada un recurso natural, sino también como elemento sustancial en la sustentabilidad ambiental de las formas de los ecosistemas naturales y humanos configurados en paisajes culturales.

Esta doble dialéctica se pone de manifiesto con absoluta claridad en los espacios serranos andaluces y, de forma muy particular en la Sierra de Huelva. El papel que el agua juega en la comprensión compleja de la Sierra presenta una doble perspectiva que encierra la coexistencia de dos modelos diferenciados.

Por un lado, desde un punto de vista endógeno, el agua se convierte en parte esencial del funcionamiento del sistema físico-ambiental del conjunto de los espacios serranos. Cabe reseñar que la Sierra de Huelva es, junto a las Sierras de Grazalema y de Cazorla, el ámbito espacial con la pluviometría más abundante dentro del conjunto de la región. La riqueza florística y faunística del conjunto de la Sierra, la configuración de su particular paisaje, las diferentes asociaciones biogeográficas, etc...tienen en parte su explicación por las características pluviométricas de la región; y no solo por los altos niveles pluviométricos alcanzados cuyos máximos, localizados en el Parque Natural de la Sierra y Picos de Aroche, se sitúan de media en los 1200 mm anuales, sino además por la existencia de un periodo estival más corto que en el conjunto de la región. Podría afirmarse, desde este punto de vista ambiental, la existencia de un proceso de intraversión de los recursos pluviométricos existentes en la región en contraposición



con los procesos de extraversión que, desde un punto de vista económico, tienen lugar con el cambio de escala que supone el esquema de funcionamiento y de relaciones Sierra-Litoral.

Es, desde este modelo exógeno a la Sierra desde el que se produce una configuración de la Sierra como zona productivo-extractiva de los recursos hídricos ligada a la intensificación de las modernas actividades económicas que conviven/compiten por el agua en la franja litoral onubense, la agricultura intensiva ligada al cultivo no exclusivo de la fresa y la actividad turística fundamentalmente de segunda residencia, aunque con algunos ejemplos actuales de diversificación hacia una oferta hotelera ligada al turismo del golf. Pero también desde este punto de vista la Sierra de Huelva presenta algunas peculiaridades que han incidido en la intensificación de estos modelos. Por un lado, una pluviometría media abundante como ya ha sido reseñado, por otro la propia estructura hidrológica de la Sierra, con preeminencia de materiales cristalinos de baja permeabilidad que drenan directamente hacia el Sur y con una red estructural de embalses que permiten la acumulación del recurso. La Sierra, por tanto, puede ser considerada bajo este prisma como una gran bacía casi inagotable de unos recursos hídricos que son convertidos en un factor de producción una vez que son trasvasados al espacio litoral.

Desde ambos puntos de vista, parece que los estudios relativos al comportamiento de la precipitación en este espacio tan singular no carecen de sentido. Sin embargo, el papel preponderante que se ha dado a los enfoques extractivos de los recursos hídricos en ese proceso de extraversión de los mismos a los que antes se hacía referencia, han centrado la cuestión en los aspectos cuantitativos del recurso y, por tanto, de la precipitación. Incluso en los más actuales estudios de modelos de utilización de los mismos, gran parte del debate público y de los datos aparecidos siguen haciendo mención casi exclusivamente, a los «excedentes» y «déficits» de cada una de nuestras cuencas, lógicamente sustentados en ese modelo mental y socio-económico extravertido de las políticas del agua.

Sin embargo, desde una perspectiva endógeno-ambientalista del tratamiento de los recursos hídricos, el esquema de análisis se enriquece ya



que, ahora, no solo es importante la cantidad de precipitación alcanzada, sino el cómo se produce y se distribuye esa precipitación; es decir cuáles son los procesos que se encuentran en la génesis de la lluvia en esos espacios, cómo se comportan cada uno de ellos, cuál es la importancia relativa de estos en el conjunto de las precipitaciones que se alcanzan en el territorio y, quizás lo más interesante, cuál es la estructura espacial de la precipitación en el interior de esos espacios. El mejor conocimiento del comportamiento interno de la precipitación en el entorno serrano de la Sierra de Huelva, por la estrecha interrelación entre la precipitación y el conjunto de procesos físicos y ambientales que tienen lugar en la misma, incidirá en un mejor conocimiento del complejo esquema de funcionamiento del sistema físico-ambiental de ésta.

De aquí el trabajo que se presenta a estas jornadas de Patrimonio de la Sierra de Huelva, la estructura espacial de la precipitación en el Andevalo y Sierra de Huelva, entendiendo ambos espacios, desde el punto de vista del comportamiento de la precipitación, como un conjunto unitario y no separativo.

2.- METODOLOGÍA

La metodología aplicada para el análisis de los patrones de comportamiento espacial de la precipitación en los ámbitos seleccionados se ha basado, primeramente, en la selección de un conjunto de estaciones meteorológicas con datos pluviométricos repartidas por el Andevalo y la Sierra onubense con el objetivo de conseguir una adecuada cobertura espacial de los espacios estudiados. En algunas ocasiones, esta cobertura espacial se ha visto mermada fundamentalmente por los problemas de calidad y continuidad temporal de las series anuales de precipitación de dichas estaciones. En todas las que finalmente se seleccionaron se cumplen las normas internacionales emitidas por la OMM del periodo mínimo de 30 años en los registros anuales de la precipitación con el objetivo de garantizar la «representatividad» climática de las medias anuales de precipitación calculadas.

El estudio espacial de la precipitación presenta fundamentalmente dos características específicas que han de ser tomadas en consideración en las fases metodológicas previas. Por un lado, la precipitación es un fenómeno



discontinuo en el tiempo; por tanto, consideramos en este primer trabajo la precipitación anual como la media de los totales anuales de precipitación de un periodo mínimo de 30 años. En segundo lugar, y aún más importante desde el enfoque espacial pretendido, el proceso de registro de la precipitación es discreto en el espacio. Es decir, registramos la precipitación de forma puntual en las distintas estaciones meteorológicas de las que dispone el Organismo productor de información meteorológica a nivel estatal, el Instituto Nacional de Meteorología. Sin embargo, el comportamiento de la lluvia en el conjunto del área del estudio, exige una visión lo más continúa sobre el territorio posible. Lógicamente la «continuidad» espacial de una variable discreta como la precipitación no deja de ser una imprecisión del lenguaje aplicado; mucho más preciso sería hablar de extraer una visión lo «menos» discreta posible de la precipitación sobre un área determinada. La mayor o menor resolución espacial en la representación de la distribución de la variable sobre un espacio va a estar directamente relacionada con el tamaño del píxel del *grid* o rejilla sobre los que van a ser interpolados los valores de precipitación en función del modelo adoptado.

Los análisis de los patrones espaciales de cualquier variable medida de forma discreta en el espacio se basan pues en la aplicación de modelos que respondan lo más ajustadamente posible en términos estadísticos a la variabilidad espacial que presenten los puntos de muestreo de registro de nuestra variable. La metodología empleada en este estudio se circunscribe a esta búsqueda de un modelo estadístico que explique el comportamiento espacial de la precipitación.

Este modelo estaría basado en las relaciones multivariantes entre la variable dependiente, en nuestro caso la precipitación, y un conjunto de variables geográficas apriorísticamente relacionadas con la variabilidad espacial del fenómeno. Este tipo de modelos ha demostrado su validez en climatología, ya que la naturaleza de los fenómenos climáticos es tremendamente dinámica y tiene dependencia (en términos de correlación) en su génesis y concreción con toda una serie de variables geográficas (altitud, emplazamiento, posición, distancia al mar, gradiente altitudinal, latitud, longitud, orientación, etc...). Esta *dependencia* estadística entre variables es la que sustenta la búsqueda y el ajuste de los diferentes modelos.



Las fases metodológicas por las que ha pasado este estudio han sido las siguientes:

- Selección de estaciones en el área de estudio
- Cálculo de la media anual de las precipitaciones en cada estación a partir de los datos registrados en un periodo común de al menos 30 años (1961-1990)
- Extracción de las variables independientes que iban a entrar en el modelo de regresión: altitud, emplazamiento, distancia al mar, latitud, longitud y orientación
- Análisis de las correlaciones bivariadas entre el conjunto de variables y nuestra variable dependiente, la precipitación.
- Cálculo y evaluación del modelo de regresión
- Aplicación del modelo ajustado al conjunto del territorio y establecimiento de la cartografía pluviométrica del área de estudio

3.- SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO Y CÁLCULO DE LAS MEDIAS ANUALES

En un primer momento se seleccionaron todas las estaciones pluviométricas dependientes del INM que se localizaban en la zona de estudio, Andévalo y Sierra de Huelva, entendiéndose ambas comarcas a partir de los criterios de inclusión municipal en cada una de ellas. Una vez seleccionadas espacialmente estas estaciones, se desecharon todas aquellas que no presentaban registros completos anuales en al menos el periodo de 30 años 1961-1990 recomendado por la OMM. Finalmente se han seleccionado un total de 43 observatorios que cubren aceptablemente, desde un punto de vista espacial, el área de estudio (Fig. 1)

Figura nº 1

Selección y localización de los observatorios pluviométricos





4.- EXTRACCIÓN DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES DEL MODELO DE REGRESIÓN: ALTITUD, EMPLAZAMIENTO, DISTANCIA AL MAR, LATITUD Y LONGITUD.

a) La altitud de cada estación fue obtenida a partir de los datos proporcionados por el INM en sus ficheros maestros de observatorios meteorológicos (altitud)

Histograma de frecuencias de las altitudes de los observatorios
Figura nº 2

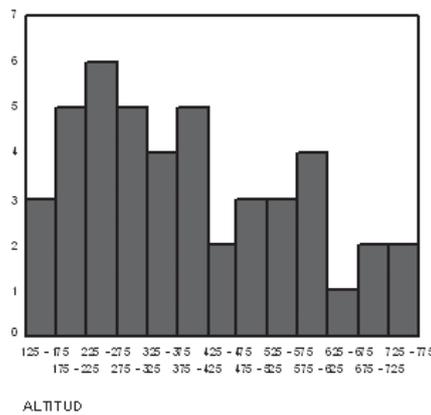
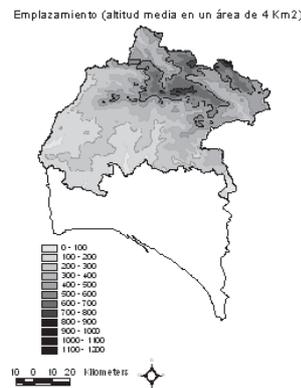


Figura nº 3



b) El emplazamiento de la estación hace referencia a las características topográficas del entorno del observatorio. A partir de un modelo digital del terreno de resolución inicial de 200 metros se han obtenido las siguientes variables para cada punto de observación:

- Altitud media para un área de 1 Km² alrededor de la estación (empla1km)
- Altitud máxima para un área de 1 Km² alrededor de la estación (empla1kmmx)
- Altitud media para un área de 4 Km² alrededor de la estación (empla4km)
- Altitud máxima para un área de 4 Km² alrededor de la estación (empla4kmmx)
- Altitud media para un área de 9 Km² alrededor de la estación (empla9km)
- Altitud máxima para un área de 9 Km² alrededor de la estación (empla9kmmx)



	MEDIAFRE	ALTITUD	X_COORD	Y_COORD	DISTANCIA	EMPLA	EMPLA	EMPLA	EMPLA	EMPLA	EMPLA
DISTANCIA	Pearson ,472	,729	,686	,910	1,000	,745	,728	,752	,731	,759	,745
	Sig. ,001	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000
(bilateral)											
N	43	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
EMPLA1KM	Pearson ,830	,974	,668	,678	,745	1,000	,993	,997	,978	,991	,966
	Sig. ,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
(bilateral)											
N	43	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
EMPLA1KMM	Pearson ,829	,964	,664	,658	,728	,993	1,000	,989	,984	,983	,970
	Sig. ,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
(bilateral)											
N	43	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
EMPLA4KM	Pearson ,832	,971	,667	,690	,752	,997	,989	1,000	,983	,998	,975
	Sig. ,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
(bilateral)											
N	43	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
EMPLA4KMM	Pearson ,828	,951	,650	,677	,731	,978	,984	,983	1,000	,984	,991
	Sig. ,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000
(bilateral)											
N	43	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
EMPLA9KM	Pearson ,830	,964	,673	,698	,759	,991	,983	,998	,984	1,000	,982
	Sig. ,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
(bilateral)											
N	43	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
EMPLA9KMM	Pearson ,807	,941	,649	,690	,745	,966	,970	,975	,991	,982	1,000
	Sig. ,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
(bilateral)											
N	43	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45

CORRELACIONES

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

De esta forma y en función de la matriz de correlaciones obtenida, podemos asegurar una fuerte relación de dependencia de nuestra variable dependiente con algunas de las variables que entrarán como predictoras en el modelo de regresión.



Además, una de las primeras conclusiones que podemos extraer de los resultados obtenidos es que las variables de emplazamiento presentan una mejor correlación con la precipitación que la variable altitud en el punto del observatorio. Entre estas, las altitudes medias sobre un área circundante presentan mejores niveles de correlación que las altitudes máximas de esas mismas áreas y en relación a las superficies de las áreas circundantes a los observatorios, es la superficie de 4Km² la que mejor correlación presenta con la precipitación de entre las seleccionadas.

6.- GENERACIÓN DEL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL

Para el cálculo del modelo de regresión lineal se adoptó un método de pasos sucesivos -stepwise-, en el que en cada paso se evalúan una a una cada una de las variables independientes introducidas para ser evaluadas, de tal forma que, en función de la aportación de cada una de ellas a la varianza total explicada por el modelo y evaluada en función del valor de probabilidad de F, estas van siendo eliminadas o introducidas en el modelo. El objetivo de este método es encontrar el mejor modelo de ajuste en términos no exclusivamente de varianza total explicada -obviamente si construimos el modelo con el conjunto de las variables, esta varianza explicada será mayor-, sino en términos de aportación estadísticamente significativa de incremento en el total de la varianza explicada por el modelo.

El modelo ajustado, por tanto, se corresponde con:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_mX_m + e$$

donde,

b_0 = ordenada en el origen

b_1, \dots, b_m = coeficientes de regresión del modelo

X_1, \dots, X_m = variables independientes del modelo

e = error aleatorio (*random error*)

Finalmente, las variables introducidas en el modelo han sido el emplazamiento del observatorio medido como la altitud media en un área



circundante de 4 Km² y la distancia al mar. La selección de estas variables se basó en un ajuste por mínimos cuadrados bajo el método de pasos sucesivos con una probabilidad de F (Test de Fisher) para entrar en el modelo de 0,050. Se trata en realidad de un método de selección progresiva ascendente, en la que la variable con un coeficiente de correlación mayor con la variable dependiente es primeramente incorporada y mantenida en el modelo, para, a partir de la varianza explicada por esta, ir introduciendo una a una el resto de variables independientes evaluando su aportación residual al total de varianza explicada.

Es importante destacar que la no inclusión de alguna o algunas variables en este tipo de modelos de relación climática suele estar relacionada con la posibilidad de multicolinealidad entre las variables independientes. La multicolinealidad entre las variables nos expresa el grado de relación lineal entre estas, de tal forma que dos variables independientes con un coeficiente de correlación alto entre ellas -tal y como sucede en todas las variables altimétricas iniciales (ver matriz de correlaciones)-, aportarán una explicación de la varianza de nuestra variable dependiente muy similar, de tal forma que estadísticamente pueden ser eliminadas muchas de ellas ya que no aportan una explicación adicional de la misma lo suficientemente significativa. Además, por supuesto, variables con un bajo r^2 con la variable dependiente tampoco entrarían en el modelo dada su baja relación apriorística con esta última.

4.- Evaluación del modelo.

El ajuste del modelo adoptó la siguiente expresión:

$$Y = 592,913 + 1,257 \text{ empla4km} - 0,003838 \text{ distancia}$$

El modelo adoptado presenta un r^2 de 0,747. es decir, un 75% de la variabilidad espacial de la precipitación puede ser explicado en función del modelo ajustado. Este coeficiente de determinación es además estadísticamente significativo al 95% a partir del Test F de Fisher ($F < 0.05$) en la tabla ANOVA de análisis de la varianza (Tabla n°2), siendo los coeficientes de regresión parciales (b_1 y b_2) también significativos para el mismo nivel de confianza (Tabla n° 3).

ANOVA (Tabla nº 2)

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
2 Regresión	1353447,121	2	676723,561	59,123	,000
Residual	457844,646	40	11446,116		
Total	1811291,767	42			

Variables predictoras: (Constante), EMPLA4KM, DISTANCIA
Variable dependiente: MEDIAPRE

Tabla nº 3

Coeficientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		t	Sig.	Correlaciones	
	B	Error típ.	Beta				Orden cero	Parcial
(Constante)	592,913	61,309			9,671	,000		
EMPLA4KM	1,257	,138	1,101		9,112	,000	,832	,822
DISTANCIA	-3,838E-03	,001	-,358		-2,961	,005	,472	-,424

a Variable dependiente: MEDIAPRE

Una evaluación del modelo más consistente debe contemplar una evaluación de los residuos del mismo. Si observamos los estadísticos de los residuos (Tabla nº4), observamos como el residuo mínimo alcanzado es de -219.16 mm, mientras que el residuo máximo es de 188,39. Estos suponen una variación del 26% y del 23% respecto a la media de los valores pronosticados, lo que supone de hecho y teniendo en cuenta las características de nuestra variable dependiente, la precipitación anual media, unos errores de estimación muy elevados, especialmente si tenemos en cuenta el papel medioambiental y de conexión con el resto de procesos físico-ambientales con los que está relacionada la precipitación .



Tabla n° 4
Estadísticos sobre los residuos

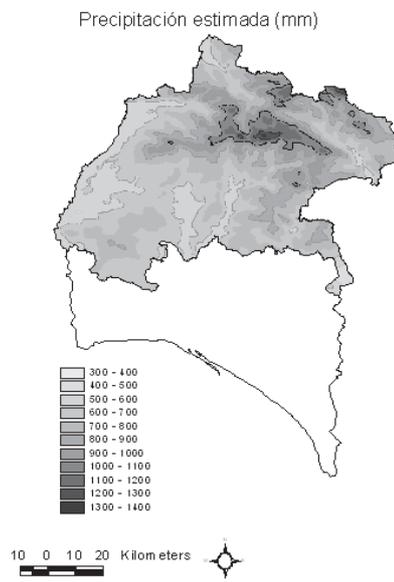
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típ.	N
Valor pronosticado	555,27	1264,50	813,65	179,51	43
Residuo bruto	-219,16	188,39	7,93E-14	104,41	43
Residuo tip.	-2,048	1,761	,000	,976	43

a Variable dependiente: MEDIAPRE

La aplicación final del modelo al conjunto del área de estudio se realizó para un grid de 200 metros de resolución (figura n° 4).

Mejorar estas desviaciones componen la segunda parte de este estudio, basado pues, en el análisis de los residuos y de su distribución espacial.

Figura n° 4



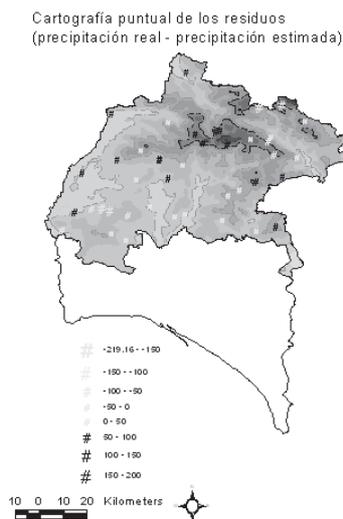


6.- Análisis y distribución espacial de los residuos. Proceso de mejora del modelo

Si observamos la figura nº 5 en el que se representan de forma puntual en cada observatorio los errores del ajuste del modelo en cada punto muestral de forma proporcional, se puede apreciar cómo la localización de los errores de sobreestimación de la precipitación se localizan en dos zonas al SW y al NE del área de estudios (puntos más claros de mayor tamaño). Es decir, en realidad, las precipitaciones registradas en esos puntos son sensiblemente menores, en un orden de magnitud de un 25%, a los valores predichos por el ajuste realizado. Por el contrario, observamos también cómo las mayores desviaciones de infraestimación se localizan precisamente coincidiendo con las zonas de mayor altimetría del área de estudio (figura nº3).

Esta situación de localización de máximos errores en la estimación de la precipitación debe ser considerada con todo detenimiento, ya que podríamos estar ante procesos asociados a la generación y distribución de precipitación en estas áreas que no han sido recogidas en su totalidad por el modelo implementado. De hecho, en función del análisis de la bondad del mismo, existe un 25% de varianza muestral no explicada por la relación lineal existente entre la precipitación y las variables independientes que entraban en la regresión.

Figura nº 5





Para evaluar si existe algún tipo de patrón espacial con significación climática no recogido por el modelo adoptado se procedió a construir una superficie de tendencia de la precipitación en nuestro área de estudio basada en el Inverso de la distancia (IDW) (Shepard 1968). Este método se basa en la estimación de la precipitación en el conjunto de la zona seleccionada a partir de los datos de precipitación puntuales recogidos en los observatorios asumiendo la hipótesis de la mayor dependencia del valor estimado en un lugar cualquiera de la misma respecto del inverso de la distancia de los puntos muestrales bajo la forma:

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i$$

donde n es el número de puntos muestrales en la serie, fi son los valores de la serie de datos y wi son los pesos asignados a cada punto muestral en función del inverso de la distancia, «pesando» más en el valor interpolado los valores muestrales de los puntos más cercanos a la localización del punto a estimar.

Es decir, este algoritmo de interpolación nos ofrece una relación distinta a la aproximación de modelización estadística previa, ya que la única variable tenida en consideración es la distancia a los puntos muestrales, existiendo una ponderación mayor o menor en el peso (*power*) del inverso de la distancia aplicado. Se trata, por tanto, de una muy buena aproximación al gradiente de variación de un fenómeno en el espacio, ofreciendo en un modelo simplificado los grandes patrones espaciales en el comportamiento de una variable.

Figura nº 6

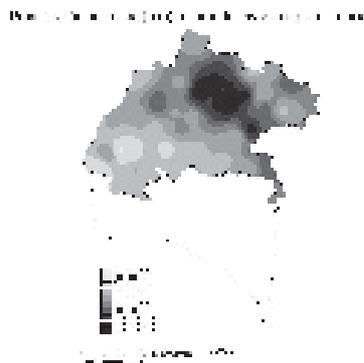
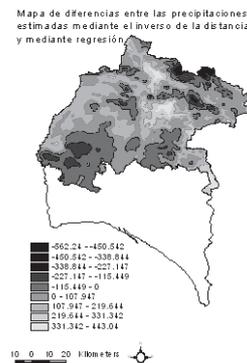


Figura nº 7





Como se observa en la figura nº 6 correspondiente a la aplicación de este modelo espacial, observamos algunas diferencias importantes con el modelo espacial basado en la regresión lineal primeramente adoptada. Estas diferencias se muestran incluso de forma más nítida si sustraemos ambas superficies (figura nº 7), encontrando una infraestimación generalizada de nuestro modelo original respecto del modelo espacial basado en el inverso de la distancia. Estas diferencias son mayores en las zonas de mayor altitud y también en aquellas zonas de contacto entre las máximas elevaciones y las cabeceras de los valles en los que además, tenemos un mayor vacío de puntos muestrales. La comparación de ambas superficies puede ofrecernos datos de interés en relación a las posibles variaciones en el espacio que no hayan podido ser recogidas por la aplicación de nuestro modelo. Desde este punto de vista, el hecho de mayor relevancia comparando ambos mapas es la situación que puede observarse en la zona NE de nuestro área de estudio, coincidente con los mayores errores de sobreestimación de nuestro modelo original. Se trata de una zona de elevada altitud media que, en nuestro modelo de regresión, ha producido dada la dependencia precipitación-altitud, unos valores estimados de precipitación consecuentemente altos. Sin embargo, los valores de precipitación muestral recogida en los observatorios de dicha zona se encuentran bastante por debajo de la estimación producida. Esta visión espacial del fenómeno nos hace pensar la existencia de una zona de sombra relativa pluviométrica en toda esta zona, seguramente vinculada a los procesos de precipitación dominantes del SW y a su posición a sotavento de las máximas altitudes de la zona, los Picos de Aroche, que no ha podido ser recogida por el modelo de regresión.

Por tanto, como conclusión, observamos que nuestro modelo de regresión no da respuesta a posibles variaciones espaciales de la precipitación sobre el área de estudio con una probabilidad muy alta de tener cierta significación climática. Este es un hecho contrastado en otros estudios que producen los mismos resultados (Laborde, 1984, Marchand, 1986), incluso con un número mayor de variables introducidas en el modelo.

Partiendo de la hipótesis de que la magnitud de los residuos alcanzados en las diferentes zonas del área del estudio no se distribuyen aleatoriamente sobre el espacio y que la localización de los mismos respon-



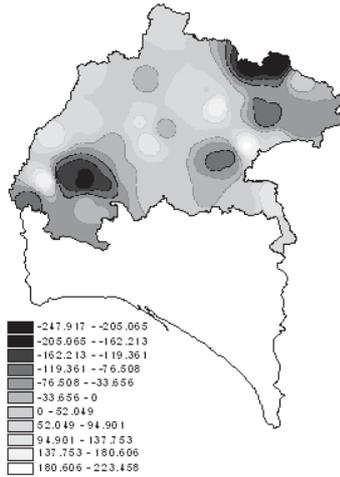
de, por tanto, a procesos climático-geográficos no recogidos por nuestro modelo inicial, debemos buscar algún patrón de distribución espacial de los mismos que constituya la base de la corrección de los valores estimados en el conjunto de nuestro área de estudio por el ajuste del modelo inicial.

Este proceso de corrección de los modelos iniciales en función del descubrimiento del patrón de distribución espacial de los residuos ha sido largamente utilizado en los estudios de estas características. Peck (1962), Storr y Ferguson (1972), Laborde (1981, 1984) han utilizado esta metodología para, una vez encontrado dicho patrón, proceder a una adición de ambos modelos, el inicial y el ajustado para los residuos, que redujera el error asociado a la no funcionalidad del comportamiento entre las variables del modelo. Las diferencias más importantes se encuentran en el método adoptado para la búsqueda del patrón espacial de distribución de los residuos. Entre los más utilizados se encuentran el método de los filtros autoregresivos utilizados por Laborde o el Krigging sobre los mismos del método Aurelhy. Nosotros hemos optado por utilizar el inverso de la distancia a los puntos de residuos muestrales como algoritmo de interpolación de los mismos. Una vez encontrada la distancia entre puntos muestrales como una variable válida para poner de manifiesto las importantes diferencias espaciales entre los valores reales y los ajustados, asumimos que también puede ser un estimador válido para conseguir un campo *-grid-* de distribución de los residuos. De hecho, los estudios más complejos adoptan el krigeado de los residuos como método óptimo, siendo esta fórmula análoga a la utilizada por nosotros aunque introduciendo una variable fundamental como es la propia variabilidad de la precipitación real muestral en cada uno de los distintos vectores direccionales. Este método es, por tanto, más ajustado que el Inverso de la Distancia, pero necesita un mayor número de puntos muestrales y presenta una mayor dificultad de cálculo. Ambos hechos nos inclinaron por la primera opción, la cual se enmarca bien en el ámbito y los objetivos de esta comunicación.

Finalmente se adicionaron ambas superficies, la precipitación estimada en función de nuestro modelo de regresión y la distribución espacial de los residuos, obteniendo los resultados que pueden observarse en las figuras nº 8 y 9.

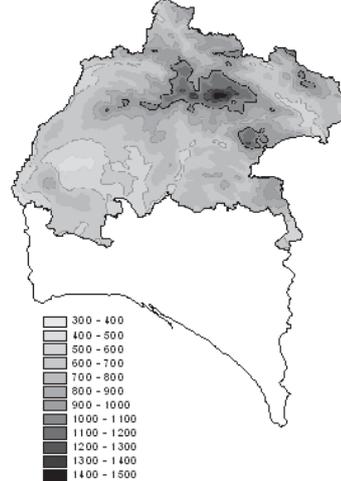


Figura n° 8

Cartografía de residuos
(precipitación real - precipitación estimada)

10 0 10 20 Kilometers

Figura n° 9

Precipitación estimada (mm)
Modelo corregido

10 0 10 20 Kilometers

Observando ambas superficies y las diferencias entre ellas, puede observarse la corrección del modelo efectuada a partir del proceso aplicado, en el que ahora los máximos residuos han sido minimizados. Es de destacar la importancia de estos procesos de corrección debido a su significación climática. Efectivamente el modelo ajustado originalmente explicaba casi un 70% de la varianza de la precipitación en función de la variación experimentada por la altimetría en el área de estudio. Es evidente que la altimetría conjuntamente con la posición occidental de nuestra zona juega un papel muy importante en el reforzamiento y aumento de la actividad frontal que barre Andalucía en dirección Oeste-este; sin embargo, comportamientos pluviométricos asociados a las características de posición de las distintas zonas pueden quedar enmascarados en la modelización general. Estos errores en las estimaciones debidos a este cúmulo de factores, que no se ajustan a procesos de importancia climáticas significativas y por lo tanto quedan fuera del 70 % de varianza explicada, pueden ser resueltos y puestos de manifiesto mediante este tipo de correcciones metodológicas.



BIBLIOGRAFÍA

- ARLERY R et al. (1973). *Climatologie, méthodes et pratique*. Ed. Gauthiers-Villars, 434 pag.
- BLEASDALE A., CHAN Y.K. (1972) «Orographic influences on the distribution of precipitation» en *Distribution of precipitation in mountainous areas*. OMM n° 326, vol. 2, pp 322-333.
- CREUTIN, J.D. and C. OBLED, (1982), «Objective analysis and mapping techniques for rainfall fields: An objective comparison» en *Water Resources Research*, 18, p413-431.
- LABORDE J.P. (1981). «Synthèse cartographique des pluies journalières extrêmes dans l'Est de la France. Institut Polytechnique de Lorraine, 63 pag.
- STORR D., FERGUSON H.L. (1972). *The distribution of precipitation in some mountainous canadian watersheds* in «Distribution of precipitation in mountainous areas». OMM, n° 326, vol. 2, pp 243-263.



