

LA MATRIZ DE CORRELACIÓN LINEAL EN CLIMATOLOGÍA. LOS RIESGOS INTERPRETATIVOS: SU REDUCCIÓN O ELIMINACIÓN

POR

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ MARTÍN

En la actualidad, la investigación climática está basada en la profusa utilización de técnicas estadísticas y de nuevas tecnologías. Su auge se debe precisamente al gran desarrollo que ha experimentado la ciencia informática, tanto en la generación de *software* como de *hardware*.

Esto ha posibilitado la aparición de numerosos trabajos que tienen como fundamento principal la aplicación de complejas técnicas estadísticas al campo climático. El resultado de estos trabajos, tanto cuantitativo como cualitativo, ha sido muy bueno, si bien existen algunos problemas, sobre todo cuando se utiliza la matriz de correlación lineal.

Es por ello que hemos elaborado este artículo, ya que la aplicación e interpretación de esta compleja técnica estadística no resulta tan sencilla como parece. En este sentido, es posible afirmar que la matriz de correlación lineal posibilita la obtención de la forma en que covarían dos variables determinadas. Por este motivo, no es de extrañar que cuando se correlacionan variables climáticas con otros parámetros, como pueden ser los geográficos, se obtengan unos resultados muy interesantes.

José Manuel Sánchez Martín. Investigador en el Departamento de Geografía y O.T. Universidad de Extremadura. Cáceres.

Estudios Geográficos
Tomo LVI, n.º 219, abril-junio 1995

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ MARTÍN

Sin embargo, su aplicación así como su interpretación puede conllevar determinados problemas que precisan de una reflexión concienzuda, para intentar reducir o eliminar el riesgo de error que lleva asociado. De este modo, aunque aparece en buena parte de la literatura existente sobre esta técnica, es preciso señalar que existen relaciones causales y casuales.

Las primeras se caracterizan por la existencia de una relación de causa-efecto, en la que cualquier cambio en una variable implica una mutación en otra. Este tipo de correlación no siempre es visible, por lo que sólo el investigador puede decidir si realmente las dos variables se hallan vinculadas de forma causal, con lo que guardarían una relación muy intensa entre las dos, aunque los coeficientes de correlación obtenidos no lo fueran tanto. Con ello pretendemos afianzar la idea de que no debe tomarse cualquier coeficiente de correlación que nos aparezca, sino que debemos asegurarnos de que la relación existente entre las dos variables sea causal, por lo que el investigador será quien supervise todos los coeficientes para posteriormente analizar los que tienen una correlación causal.

Los segundos, coeficientes de correlación casuales, están motivados por simples coincidencias, sin existir ningún vínculo entre las variables relacionadas. A pesar de ello, es posible que tengan entre ellas unos coeficientes de correlación muy elevados, pero no son debidos a un fenómeno causal, sino casual. Por lo tanto, estos valores deben ser ignorados por el investigador a la hora de interpretar los resultados.

Pese a todo, debemos reconocer que estas reflexiones no son nuevas, sino que aparecen en toda la bibliografía que trata la matriz de correlación. Sin embargo, creíamos necesario incidir en ellas, sobre todo teniendo en cuenta que se trata de analizar una técnica estadística compleja que conlleva numerosos problemas interpretativos. Por el contrario, cuando nos referimos al coeficiente de correlación mínimo para considerar una relación causal como significativa nos encontramos con la disparidad manifiesta que existe. De este modo y según se deduce de la literatura, este valor se cifra entre $\pm 0'300$ y $\pm 0'350$, lo que implica un porcentaje de explicación de la varianza cifrado entre un 9 % y un 12'25 %.

Si aceptamos estos valores es preciso tener en cuenta que el grado de solapamiento entre los diferentes coeficientes de correlación no es muy significativo, ya que de un teórico 100 % de explicación de la varianza que

LA MATRIZ DE CORRELACIÓN LINEAL EN CLIMATOLOGÍA...

se obtendría con una correlación pura tan sólo rondamos el 10 %. Debido a este grave inconveniente no es posible establecer afirmaciones más rotundas, fiables y taxativas. Ello se traduce, sobre todo en los no iniciados en el análisis estadístico, en una duda con respecto a esta técnica.

Sin embargo, si incrementamos el coeficiente de correlación de significación mínima hasta situarlo en $\pm 0'500$ estableceremos un umbral crítico de explicación de la varianza de una variable con respecto a la otra que se cifra en un 25 %. Este valor resulta ya mucho más adecuado para permitirnos establecer una serie de afirmaciones, con un grado de fiabilidad muy superior al anterior. Pese a ello, debemos reconocer que, en numerosas ocasiones, el coeficiente de correlación que se obtiene para una muestra grande suele ser inferior que cuando se trata de una serie pequeña. Entonces, siguiendo a determinados autores (Martín, Raso y Clavero), es preciso recurrir a una formulación matemática que nos permita conocer el coeficiente de correlación crítico para conceder un cierto grado de importancia. Su fórmula consiste en: $r \sqrt{n} > 1'96$.

No obstante, con esta razón matemática no se obtienen resultados demasiado brillantes, sobre todo si tenemos en cuenta que con una muestra de 100 individuos tan sólo sería necesario un coeficiente de correlación superior a 0'196. Este valor se traduce exclusivamente en un 3'84 % de explicación de la varianza.

Se trata, indudablemente, de un porcentaje explicativo muy pobre. Debido a ello, no creemos que sea la opción más adecuada, sobre todo cuando se analiza la recta de regresión a que da lugar este coeficiente. Si la realizamos nos percataremos de la gran dispersión que existe entre los diferentes puntos muestrales y la recta construida al efecto. Por todo ello, pensamos que puede ser una solución no del todo adecuada, máxime si tenemos en cuenta el elevadísimo porcentaje de la varianza que queda sin explicar.

En cambio, nosotros proponemos que se utilicen unos coeficientes de correlación más elevados con el fin de poder realizar un análisis más riguroso. Por lo tanto, creemos que son acertados los siguientes taxones, obviando el signo, por supuesto.

Explicación baja:	entre 15 % y 25 %	$r = 0'387 < 0'500$
Explicación moderada:	entre 25 % y 50 %	$r = 0'500 > 0'707$

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ MARTÍN

Explicación buena:	entre 50 % y 75 %	$r = 0'707 > 0'866$
Explicación muy buena:	superior al 75 %	$r = > 0'866$

Con estos coeficientes de correlación es posible realizar un análisis bastante preciso de la relación que se establece entre las diferentes variables que intervienen en el cálculo estadístico.

Teniendo en cuenta la tipificación que proponemos, podrá observarse que nos mostramos partidarios de la elección de unos valores muy elevados. Este hecho es comprensible porque mientras más importante sea la covariación entre dos variables tanto más lo será la explicación que podamos efectuar sobre el particular. De este modo, pensamos que con un coeficiente de correlación inferior a 0'500 se consigue una explicación de la varianza muy baja. Esta afirmación es comprensible, ya que resta por explicar un 75 % de la misma.

Por el contrario, cuando utilizamos coeficientes superiores a 0'500, pero inferiores a 0'707, explicamos un porcentaje que se cifra entre el 25 % y el 50 %. Como vemos, no es una cifra extremadamente elevada, ya que nuevamente tendremos un elevado porcentaje de la varianza intrínseca de las dos variables sin explicar.

En cambio, si los valores de correlación son incrementados hasta dar una explicación de la varianza que se sitúe entre el 50 % y el 75 %, tendremos que recurrir a coeficientes tan elevados como los que van desde 0'707 a 0'866. Con estos valores es posible efectuar unas afirmaciones mucho más fundamentadas, con menos riesgo de error, pese a que la dispersión entre los puntos de observación y la recta de regresión continúa siendo elevada.

Por último, proponemos que se tomen como correlaciones muy buenas aquellas que aporten una explicación de la varianza superior al 75 %, es decir, que el coeficiente de correlación sea superior a 0'866. Si tomamos este valor tendremos una posibilidad de acierto mucho mayor que la obtenida con una menor correlación, siendo posible efectuar juicios mucho más rotundos.

Como puede observarse, tomamos como valores adecuados unos coeficientes de correlación lineal muy significativos, por lo que es posible pensar que en pocas ocasiones pueden obtenerse. No obstante, no sucede así, y siempre debe tenderse al análisis de los coeficientes más elevados,

LA MATRIZ DE CORRELACIÓN LINEAL EN CLIMATOLOGÍA...

ya que uno de los riesgos primordiales de la matriz de correlación lineal consiste en conformarse con la consideración de coeficientes significativos los que poseen valores muy bajos. Con ello pensamos que se comete un error, ya que si se adopta una covariación excesivamente baja estaremos limitados en nuestras deducciones y, además, despreciaremos un porcentaje de irregularidad que es muy significativo.

Teniendo en cuenta estas afirmaciones, llegamos a la conclusión de que resulta totalmente necesario mostrarse rigurosos a la hora de establecer los coeficientes de correlación de significación mínima, para no cometer ciertas irregularidades en la interpretación, al asimilar una covarianza reducida a dos variables.

Pese a que todos estos aspectos son de especial interés para llevar a cabo una buena interpretación de los resultados que arroja la matriz de correlación, no debemos menospreciar otro, como es la dificultad de relacionar variables de factor puro con otras de factor impuro. Dicho de otra forma, no es fácil elaborar una matriz con variables simples y complejas, ya que los fundamentos interpretativos diferirán notablemente, al igual que los resultados.

Debido a esto, es preciso aclarar o definir las variables de factor puro y las de factor impuro, esto es, las simples y las complejas, respectivamente. De este modo, es posible asimilar las variables de factor puro a aquellas que no están modificadas por otras. Serían las variables independientes, que influyen en otras variables, pero ellas, en sí mismas, no son modificadas por ninguna otra.

En cambio, las variables complejas, o de factor impuro, resultan mucho más difíciles de analizar, debido a que en su configuración o alteración intervienen diferentes variables de factor puro. En definitiva, se trataría de variables dependientes, pero con una característica fundamental, estarían modificadas no sólo por un factor independiente sino por varios.

Teniendo en cuenta estas apreciaciones, nos percataremos de que no siempre es fácil conseguir relacionar una variable simple con otra compleja. Se debe a que la covariación no puede establecerse de forma idónea entre ellas, puesto que una técnica bivariante jamás podrá realizar un análisis multivariante óptimo de éstas. Para ello, se precisa una técnica que pueda analizar simultáneamente al menos tres variables.

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ MARTÍN

Con el fin de ilustrar estas aseveraciones en el campo climático vamos a recurrir a una variable de este tipo, concretamente las precipitaciones. Mediante ellas será posible observar el problema que surge cuando aplicamos una matriz de correlación lineal con los factores geográficos. Así mismo, es preciso señalar que partimos de un conjunto de 72 observatorios climáticos de la red estándar que cubre Extremadura y para aplicar la matriz de correlación hemos tomado cinco factores geográficos, los principales según se deduce de un estudio mucho más amplio que hemos realizado. Se trata de la altura, el emplazamiento (altura relativa), la latitud, la longitud y la exposición.

Con la inclusión de todos esos datos obtenemos una matriz de correlación elaborada siguiendo las pautas «normales», es decir, la interpretamos de la forma tradicional.

CUADRO I

Var. Clim.	Altura	Emplaza.	Latitud	Longitud	Exposic.
Pr. enero	0'310	0'600	0'660	-0'060	0'550
Pr. febrero	0'290	0'670	0'710	-0'200	0'500
Pr. marzo	0'220	0'600	0'740	-0'110	0'400
Pr. abril	0'450	0'590	0'580	-0'030	0'490
Pr. mayo	0'270	0'750	0'810	-0'220	0'330
Pr. junio	0'280	0'710	0'660	-0'160	0'290
Pr. julio	0'110	0'510	0'470	-0'100	0'130
Pr. agosto	0'170	0'530	0'600	-0'150	0'140
Pr. setiembre	0'210	0'630	0'740	-0'170	0'310
Pr. octubre	0'330	0'650	0'690	-0'090	0'510
Pr. noviembre	0'360	0'560	0'670	0'050	0'480
Pr. diciembre	0'320	0'680	0'640	-0'100	0'520
Pr. anual	0'330	0'680	0'730	-0'100	0'540

Si analizamos detenidamente esta matriz de correlación, observamos que los coeficientes obtenidos entre las precipitaciones y la altitud no son muy elevados, apenas se supera el 10 % de explicación de la varianza, si bien la situación varía en función de los diferentes meses del año.

LA MATRIZ DE CORRELACIÓN LINEAL EN CLIMATOLOGÍA...

Este hecho no deja de sorprendernos, sobre todo cuando buena parte de los postulados físicos demuestran un aumento pluviométrico considerable con la altura. Sin embargo, es posible dar una explicación lógica como es la presencia de observatorios en zonas bajas, en valles de montaña. Dicha circunstancia contribuye a la dispersión de los datos con respecto a la recta de regresión definida por el coeficiente obtenido (figura 1).

En cambio, el emplazamiento o la altura relativa de un observatorio guarda una relación mucho más importante que la altitud absoluta con las precipitaciones. De este modo, hemos calculado una covariación media de casi un 30 %, cifra muy importante si seguimos a muchos autores que abogan por el umbral crítico de 0'350 (figura 2). Un coeficiente de correlación tan elevado es explicable por el efecto de pantalla orográfica que ofrece un sistema montañoso con respecto a las áreas cercanas, lo que da lugar a un notable incremento de las precipitaciones registradas.

Por su parte, el grado de correlación calculado para las precipitaciones y la latitud es también muy elevado, ya que durante algunos meses supera

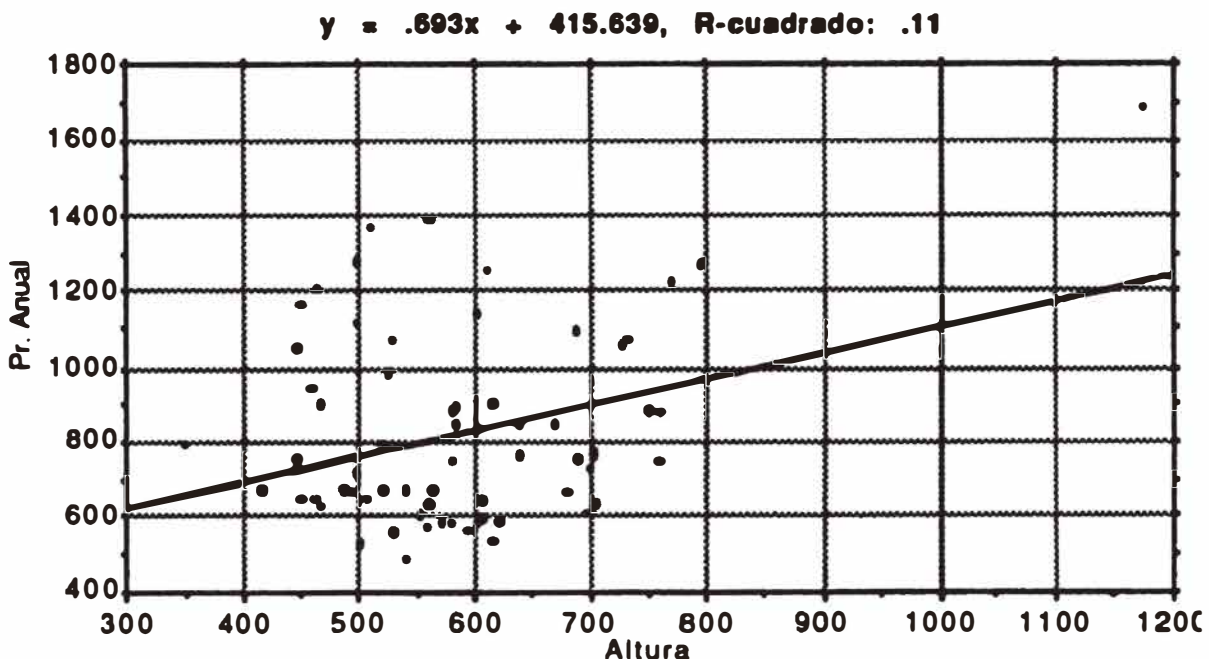


FIGURA 1.—Precipitaciones. Recta de regresión según altura

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ MARTÍN

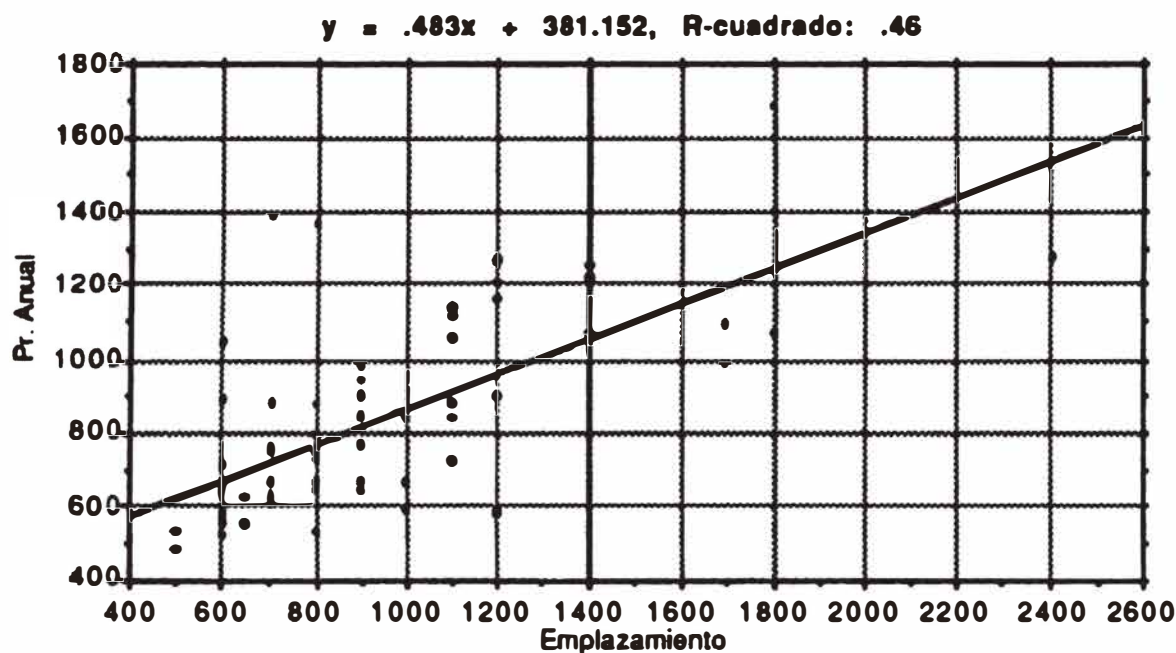


FIGURA 2.—Precipitaciones. Recta de regresión según emplazamiento

el 65 % de explicación de la varianza, si bien la media es inferior al 45 % de la misma, dependiendo en gran medida del mes o estación en que nos encontramos (figura 3).

Esta relación causal es comprensible si tenemos en cuenta que los frentes más frecuentes que afectan a Extremadura tienen una componente oeste o suroeste, pero los de componente noroeste afectan principalmente a la zona septentrional, lo que la convierte en bastante más húmeda. A esto hay que añadir otro aspecto geográfico importante, los mayores relieves se encuentran en el norte, lo que naturalmente redundará en un incremento pluviométrico.

De este hecho se deduce un aspecto fundamental como es que la correlación que obtenemos no es la idónea, ya que depende bastante de otros factores geográficos, lo que se traduce en una disminución paulatina del coeficiente de correlación que obtenemos para cada mes, así como para el conjunto del año.

La longitud, por el contrario, mantiene un escaso grado de relación con las precipitaciones de la mayor parte de los meses del año. Además, se

LA MATRIZ DE CORRELACIÓN LINEAL EN CLIMATOLOGÍA...

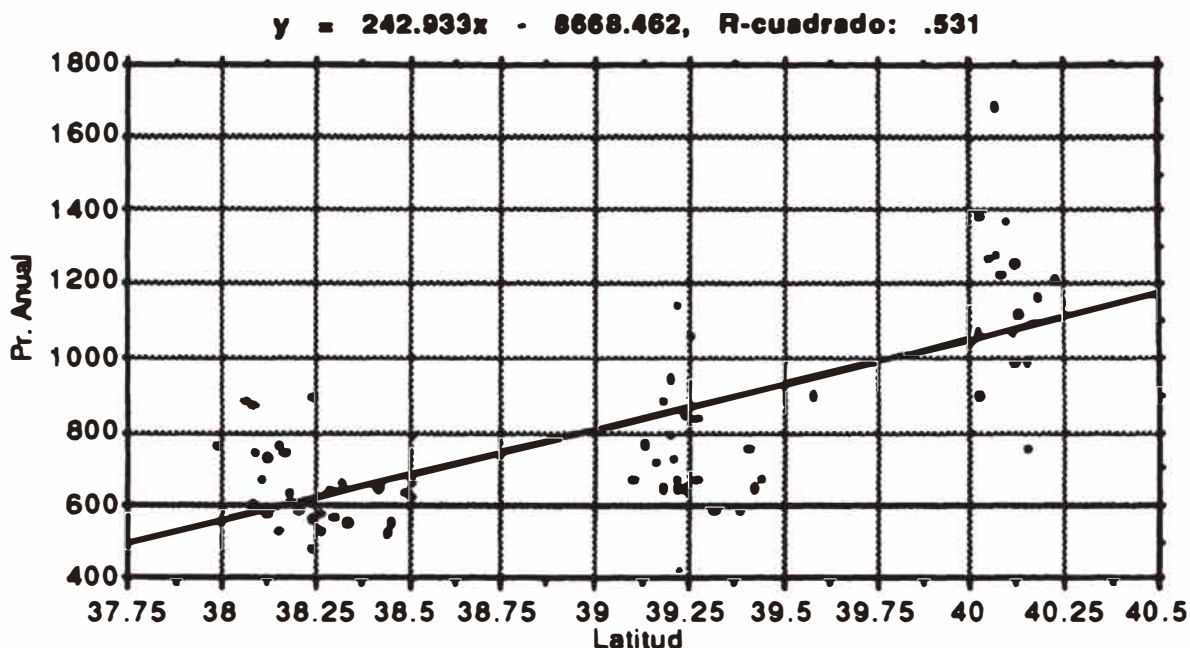


FIGURA 3.—Precipitaciones. Recta de regresión según latitud

trata de un coeficiente de carácter negativo, lo que implica cierta anomalía (figura 4). Esta contradicción es comprensible si tenemos en cuenta que de los coeficientes de correlación obtenidos se deduce que a mayor longitud, es decir, más al oeste, las precipitaciones son menores. Este hecho resulta *per se* poco creíble en una zona como Extremadura, ya que no tendría validez la influencia oceánica que posee la zona occidental de la misma.

Teniendo en cuenta este hecho, es poco aceptable en esta área, por lo que es preciso revisar los datos de partida. Cuando lo hacemos nos percatamos de la especial distribución de los observatorios que conforman la muestra. Curiosamente, los más lluviosos se encuentran en la parte oriental como consecuencia derivada de poseer una mayor altitud, tanto absoluta como relativa. Todo ello se traduce en que el coeficiente de correlación que se obtiene sea negativo, aunque con un porcentaje de explicación de la varianza bastante bajo, ya que en el mejor de los casos no supera el 4 %. Por este motivo, podemos afirmar que el coeficiente de correlación que se refleja en la tabla correspondiente no es el real, sino que se ve profundamente modificado por la presencia de otros factores geográficos que distorsionan, en gran medida, los registros pluviométricos de los

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ MARTÍN

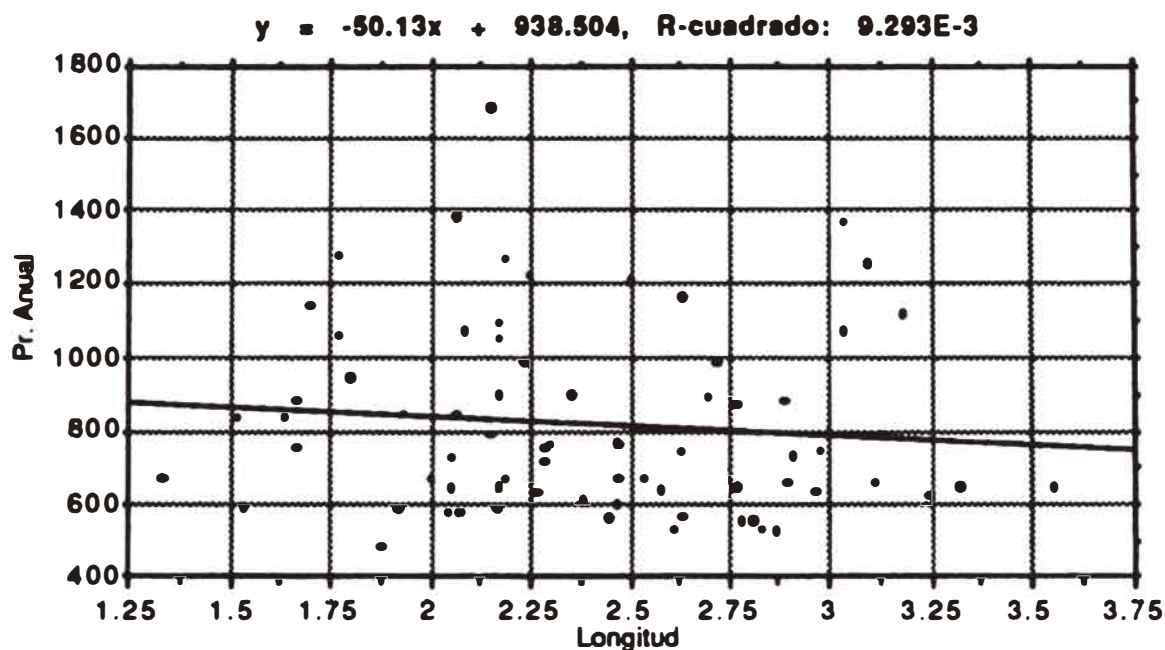


FIGURA 4.—Precipitaciones. Recta de regresión según longitud

diferentes observatorios con que contamos para poder efectuar este cálculo estadístico.

La exposición, por su parte, mantiene con las precipitaciones un coeficiente de correlación inferior al 25 % durante buena parte del año, si bien esta situación cambia notablemente durante los meses estivales en los que apenas se llega al 2 %. Esta relación, de carácter positivo, no debe sorprendernos, ya que se trata de uno de los factores geográficos que más incide en las precipitaciones, dando lugar a un marcado incremento de las mismas (figura 5).

Teniendo en cuenta que este es un análisis típico de una matriz de correlación, no nos cabe ninguna duda de que no resulta del todo adecuado. Esta falta de fiabilidad depende de una mala utilización de la técnica. Concretamente se correlacionan variables de factor puro (factores geográficos —altura, emplazamiento, latitud, longitud y exposición—) con otras de factor impuro (variables climáticas —precipitaciones—).

 LA MATRIZ DE CORRELACIÓN LINEAL EN CLIMATOLOGÍA...

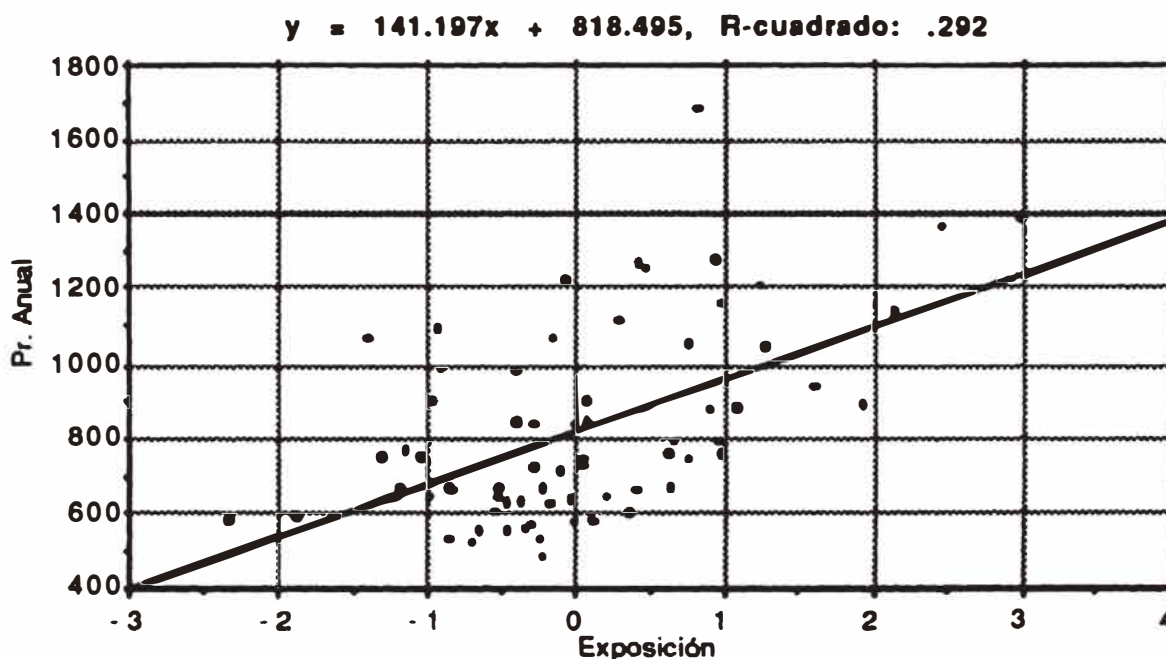


FIGURA 5.—Precipitaciones. Recta de regresión según exposición

De este modo, al aplicar la matriz de correlación lineal se produce un error metodológico, ya que se considera que las precipitaciones están modificadas por los factores geográficos. Esto es cierto, pero hay que considerar que las variaciones espaciales experimentadas por las precipitaciones se deben a la interacción de todos los factores geográficos a la vez. Por lo tanto, no parece lógico aplicar una técnica bidimensional o bivalente a un sistema complejo, multidimensional o multivariante.

Debido a esta circunstancia, proponemos la utilización de una técnica previa que permita «eliminar» la influencia superflua ejercida por los factores geográficos que no intervienen en la matriz de correlación. Es decir, proponemos hacer una depuración de la influencia que ejerce cada factor geográfico en las precipitaciones y, seguidamente, establecer las correlaciones pertinentes entre cada factor geográfico y las modificaciones que provoca en las precipitaciones.

Para llevar a cabo este propósito proponemos la utilización de la regresión múltiple, en este caso de cinco variables independientes (facto-

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ MARTÍN

res geográficos) y tomando como variables dependientes las precipitaciones de cada mes.

El procedimiento que seguimos es el siguiente:

1) Partimos de que las diferencias espaciales de la pluviometría dependen de los cinco factores geográficos señalados: *altura, emplazamiento, latitud, longitud y exposición*.

2) Si tomamos como variables dependientes a cuatro de ellos y calculamos los residuos, esto es, las diferencias entre el modelo real y el teórico. El resultado será que obtenemos la modificación, ya sea de incremento o de descenso, experimentada por las precipitaciones en función del factor geográfico omitido en los cálculos.

Ejemplo:

- Variables independientes: *emplazamiento, latitud, longitud y exposición*.
- Variables dependientes: *precipitaciones*.
- Residuos: influencia que ejerce la altura, parámetro geográfico omitido, en las precipitaciones.

3) Aplicamos la matriz de correlación lineal sobre los factores geográficos y la influencia que ejerce cada uno de ellos en las variables pluviométricas analizadas.

Con este procedimiento conseguimos aislar la influencia que ejerce cada factor geográfico en las precipitaciones, eliminado la variabilidad espacial provocada por la acción del resto de parámetros geográficos. De este modo, se aplica una técnica estadística bivalente a dos variables de factor puro, ya que las precipitaciones han sido sustituidas por la influencia que ejerce cada elemento geográfico sobre ellas. Así, el fundamento metodológico de la matriz de correlación no experimenta ninguna irregularidad y, por ende, los resultados son mucho más convincentes, como puede comprobarse en la matriz de correlación simplificada que figura a continuación.

LA MATRIZ DE CORRELACIÓN LINEAL EN CLIMATOLOGÍA...

Cuadro II

Var. Clim.	Altura	Emplaza.	Latitud	Longitud	Exposic.
I.F.G. Pr. enero	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000
I.F.G. Pr. febrero	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000
I.F.G. Pr. marzo	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000
I.F.G. Pr. abril	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000
I.F.G. Pr. mayo	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000
I.F.G. Pr. junio	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000
I.F.G. Pr. julio	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000
I.F.G. Pr. agosto	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000
I.F.G. Pr. septiembre	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000
I.F.G. Pr. octubre	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000
I.F.G. Pr. noviembre	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000
I.F.G. Pr. diciembre	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000
I.F.G. Pr. anual	0'910	0'670	0'700	0'950	1'000

En el cuadro precedente, obtenido mediante la aplicación del procedimiento expuesto, se observan algunas diferencias importantes con respecto al anterior. En primer lugar, los coeficientes de correlación han aumentado de forma significativa, sobre todo en algunos factores geográficos, como consecuencia de haber depurado la información y, de ese modo, aplicar la técnica de la manera más idónea. Así obtenemos que la correlación existente entre la influencia de los diferentes factores geográficos (I.F.G.) en las precipitaciones y dichos parámetros geográficos es muy elevada. El porcentaje de explicación de la varianza se incrementa bastante, sobre todo si lo comparamos con los obtenidos al efectuar la matriz de correlación entre variables de factor puro e impuro, o simples y complejas.

En segundo lugar, los coeficientes de correlación que hemos calculado son similares para cada mes del año y, además, para el caso anual. Esto implica un hecho ciertamente interesante, máxime si tenemos en cuenta que antes no aparecía. Nos referimos al comportamiento similar de los factores geográficos durante los diferentes meses del año. Esta circunstancia no debe extrañarnos ya que en condiciones de laboratorio se cumpliría de forma inexorable.

Por último, y en tercer lugar, no aparecen las contradicciones físicas que obteníamos en el caso anterior. Es decir, nos encontramos con que la

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ MARTÍN

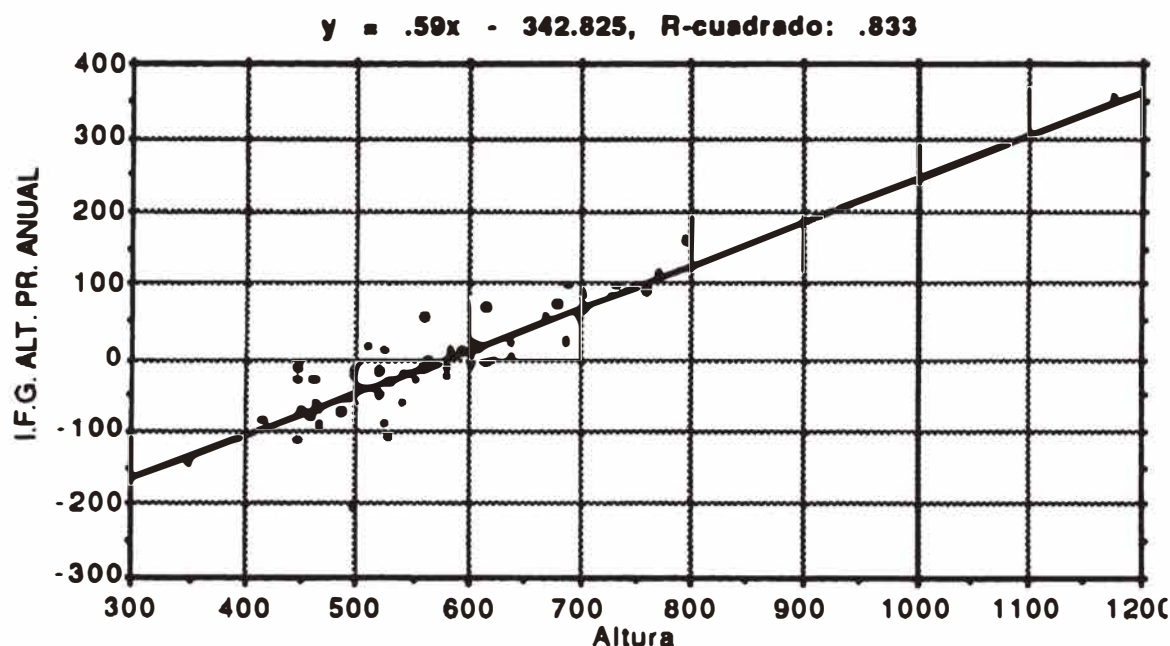


FIGURA 6.—*Correlación precipitaciones-altura*

parte occidental de Extremadura tiene rasgos oceánicos, mientras que antes nos aparecían en la parte oriental, como consecuencia derivada de la ubicación de los observatorios seleccionados.

La figura 6 expresa de forma excelente la correspondencia que se establece entre la altura y las precipitaciones que ocasiona. Como puede observarse, la correlación entre sendas variables es positiva y muy elevada, cifrándose la explicación de la varianza en el 83 %.

Este elevado índice de correlación demuestra que la altura del observatorio es uno de los factores geográficos que más incide en la pluviometría de las zonas de montaña, siendo posible afirmar que, para el conjunto de observatorios existentes en las zonas de montaña de Extremadura, el volumen de precipitaciones ocasionado por la altura es tanto más elevado como lo es la altura del observatorio.

Si analizamos la tabla en la que aparecen los valores en que la altura modifica a las precipitaciones observaremos que es precisamente en las estaciones situadas a mayor altura donde se incrementan sobremanera

LA MATRIZ DE CORRELACIÓN LINEAL EN CLIMATOLOGÍA...

las precipitaciones, pero debido exclusivamente al factor altura del observatorio. Entre éstos se encuentre Piornal, el más elevado que poseemos en el que se experimenta un incremento de precipitaciones ocasionado por la altura superior a 350 milímetros anuales. Ello nos da unos indicios muy espectaculares de lo que puede suceder en zonas más elevadas, si bien debido a que no poseemos registros de observatorios situados a mayor altura, no podemos por el momento cifrar la cota altimétrica en la que el volumen de precipitaciones se estabiliza o comienza a descender. No obstante y debido al conocimiento que poseemos de la zona podemos aventurarnos a afirmar que posiblemente en las áreas montañosas de Extremadura no se produce esta circunstancia, que sí sería factible en otros espacios mucho más elevados. Pese a esto, debemos ser consecuentes con la metodología que nos hemos propuesto, seguir e insistir en que es una opinión personal que desafortunadamente no es posible comprobar para ratificar o desechar dicha afirmación.

Si prestamos atención a los observatorios que se sitúan a una altura muy inferior, a menos de 500 metros, incluso observaremos cómo la influencia que ejerce la altura es negativa, es decir, que el volumen de precipitaciones anuales que se registra es inferior al que le correspondería tener en función de la altura, como sucede en Villanueva de la Vera, en la que aparecen unos 200 milímetros menos debido a que está situado a baja altura.

Pese a analizar unos casos extremos, es preciso señalar, y se aprecia perfectamente en el gráfico a que hacemos referencia, que existe toda una gama de comportamientos pluviométricos en función del factor altitudinal, empero como señalamos al principio, hay una correlación muy elevada entre la altura y la influencia pluviométrica que provoca, con lo que no debe extrañarnos que sean los observatorios más elevados los que cuentan con un mayor volumen de precipitaciones.

Esto se entiende porque la cantidad total de precipitación está ocasionada por la acción conjunta de múltiples factores geográficos y, como sabemos, la altura es uno de los principales, por lo que mientras más elevada sea su influencia en uno, más contribuirá al incremento total de precipitaciones.

La altura del sistema montañoso en que se inserta el observatorio, o el emplazamiento como lo hemos denominado, presenta unos desajustes

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ MARTÍN

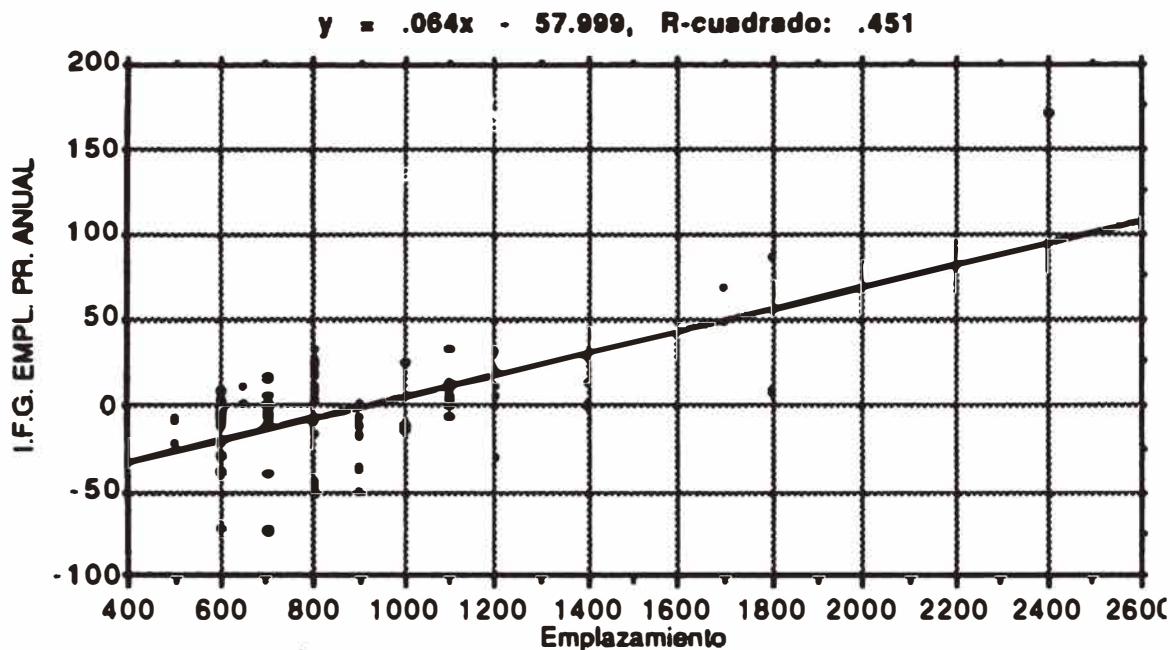


FIGURA 7.—*Correlación precipitaciones-emplazamiento*

mayores que cualquier otro factor geográfico con las precipitaciones que origina. Es preciso señalar también que el ajuste que se obtiene entre estas dos variables no es muy elevado, en torno al 45 %, puesto que priman otros factores sobre el emplazamiento.

A pesar de ello conviene señalar que hay algunos observatorios en los que su incidencia es muy significativa, tal como sucede en Villanueva de la Vera con un incremento pluviométrico que se cifra en casi 170 milímetros anuales, mientras que en otros como Tejeda de Tiétar se acusa un marcado descenso pluviométrico con más de 70 milímetros anuales.

La circunstancia de que se produzca esto es debida al desigual emplazamiento que poseen los observatorios. Así, en Villanueva de la Vera, observatorio que está relativamente bajo e inserto en un sistema montañoso muy importante, la influencia de éste se deja sentir con un fuerte incremento pluviométrico, mientras que en otros casos se registra un descenso considerable.

Naturalmente entre sendos casos existe toda una gama de alteraciones en las precipitaciones debido al emplazamiento, con lo que queda

LA MATRIZ DE CORRELACIÓN LINEAL EN CLIMATOLOGÍA...

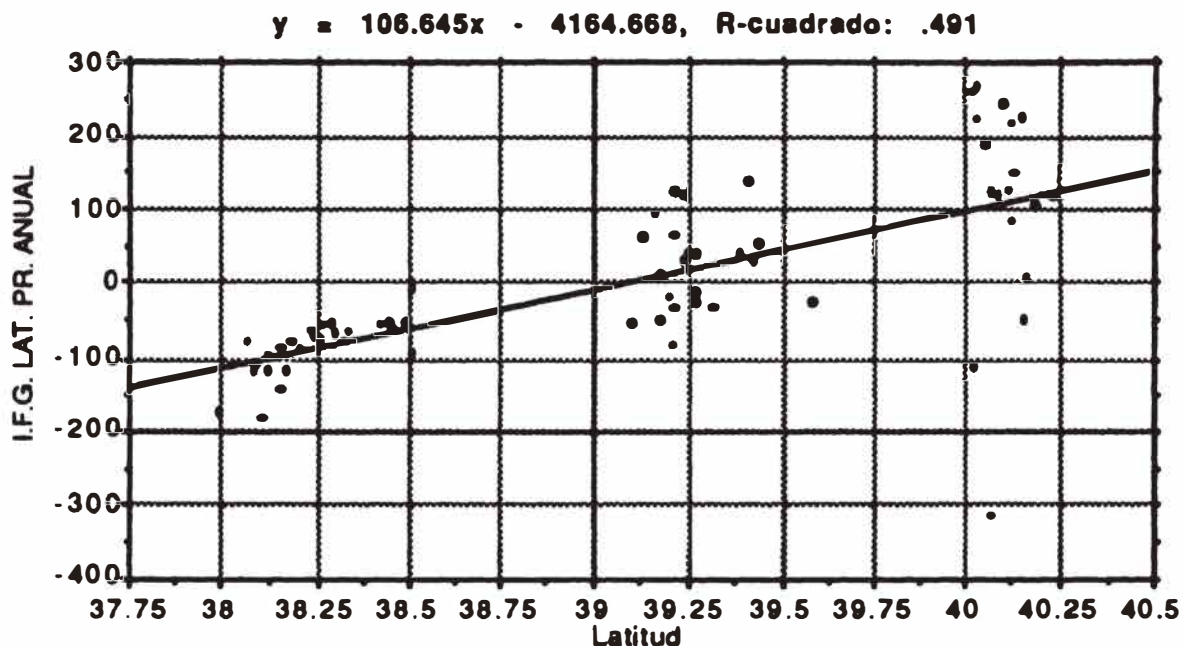


FIGURA 8.—Correlación precipitaciones-latitud

patente que es otro factor interesante al menos para realizar un análisis climático y que muy pocos investigadores tienen en cuenta para sus estudios. Nosotros en cambio lo hemos considerado como un factor geográfico más debido a la influencia tan marcada que ejerce sobre las precipitaciones, aunque afecta igualmente al resto de variables climáticas, si bien no provoca grandes modificaciones, excepto en algunos observatorios.

Con esas modificaciones puede entenderse que el clima de montaña no se ciñe de forma exclusiva a las zonas elevadas, sino que es la propia orografía de la zona la que introduce algunos cambios climáticos en las áreas adyacentes, observándose una transición entre diversas tipologías climáticas. Tal es el caso de los climas de valle o de ladera que conforman junto con los de cimas el clima de montaña, complejo como ningún otro, posiblemente debido a la múltiple interacción de los más diversos factores geográficos.

La latitud también guarda una estrecha relación con el número de precipitaciones, mostrando ciertas anomalías, que deben interpretarse no como desajustes que introduce la latitud, sino como que la influencia de

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ MARTÍN

otras variables es muy superior a la que ejerce la latitud en dichos observatorios. A pesar de todo ello hay que decir que existe una correlación suficientemente elevada para afirmar que la latitud es otro de los parámetros que influye de forma más notable en el incremento o descenso de las precipitaciones.

En este caso sucede igual que con la altura, es decir, que mientras más al norte están los observatorios mayor influencia positiva posee en las precipitaciones y al contrario. Como observatorios ejemplificadores podemos tomar a Abadía, situado muy al norte y en el que el incremento pluviométrico supera los 225 milímetros al año y, en el caso opuesto a Montemolín-Pallares con casi 200 milímetros menos de precipitación, debido a la influencia que ejerce la latitud. Sin embargo, como expusimos al principio, no existe una correlación tan elevada como en el caso de la altura, sino que se producen algunos desajustes entre la curva de regresión y los valores de la influencia de cada observatorio.

Ello se traduce en una menor covarianza entre las dos variables (latitud e influencia que provoca), con lo que debemos plantear seriamente que a pesar de que la latitud ejerce una notable modificación, no siempre se produce en el mismo sentido, o sea, que estaciones meteorológicas situadas al norte registran un incremento pluviométrico (Abadía), pero en otras se acusa un marcado descenso (Villanueva de la Vera), con lo que debemos achacar estos desajustes a la influencia desmedida que ejercen otros factores, como el emplazamiento, exposición, etc. Esta hipótesis se ve apoyada e incluso confirmada con el gráfico correspondiente en el que se observa cómo a menor latitud existe una menor dispersión de la nube de puntos (observatorios) con la recta de regresión, y esta circunstancia se va tornando más compleja a medida que ascendemos en latitud.

Dicho de otra forma y por situarnos en un contexto más general, se deduce que a menor latitud existe mayor correlación y a mayor latitud es menor. Si tenemos en cuenta que a menor latitud se encuentran los relieves más bajos y con menos complejidad de exposición, emplazamiento, a una latitud intermedia, asimilada básicamente a Villuercas, la complejidad de otros factores va aumentando y a mayor latitud está Gredos, con la compartimentación de valles, laderas y cimas; la interpretación no puede ser otra más que los desajustes entre los distintos observatorios y la línea de regresión son debidos a la existencia de una complejidad ocasionada por la acción de otros factores geográficos.

LA MATRIZ DE CORRELACIÓN LINEAL EN CLIMATOLOGÍA...

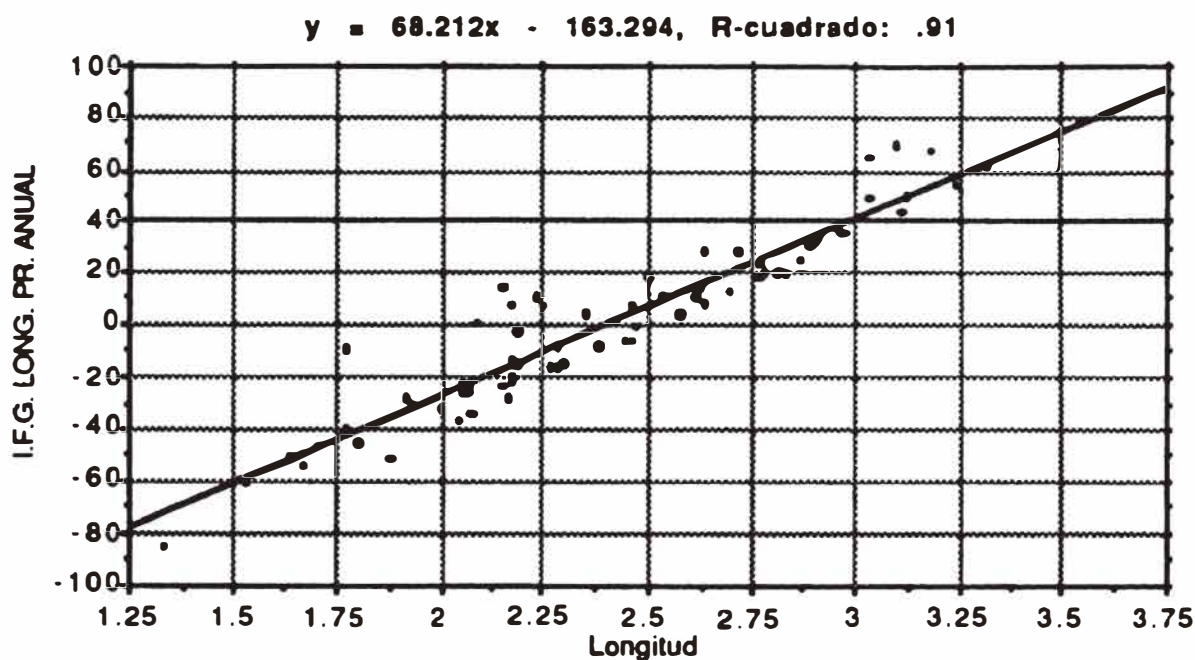


FIGURA 9.—Correlación precipitaciones-longitud

La figura 9 muestra un ajuste bastante considerable entre la longitud y las precipitaciones que origina, si bien hay que considerar que pese a la importante correlación que se establece entre ambas variables, el volumen de precipitaciones que provoca esta variable geográfica, tanto positivo como negativo, es bastante reducido, pues en ningún caso se superan los 100 milímetros de aumento o de descenso.

Aunque las alteraciones que provoca la longitud no son excesivamente elevadas son muy expresivas puesto que se aprecia perfectamente el grado de continentalidad o por el contrario de influencia oceánica que tiene cada observatorio, sin necesidad de recurrir a meras elucubraciones mentales para ver el grado de influencia marítima que posee cada estación meteorológica.

Así vemos cómo a partir de 2'5° de longitud tiene lugar un incremento de precipitaciones, esto es que a medida que nos dirigimos al oeste llueve más, con lo que queda patente la influencia oceánica en buena parte de nuestra Comunidad Autónoma. La circunstancia opuesta se produce a

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ MARTÍN

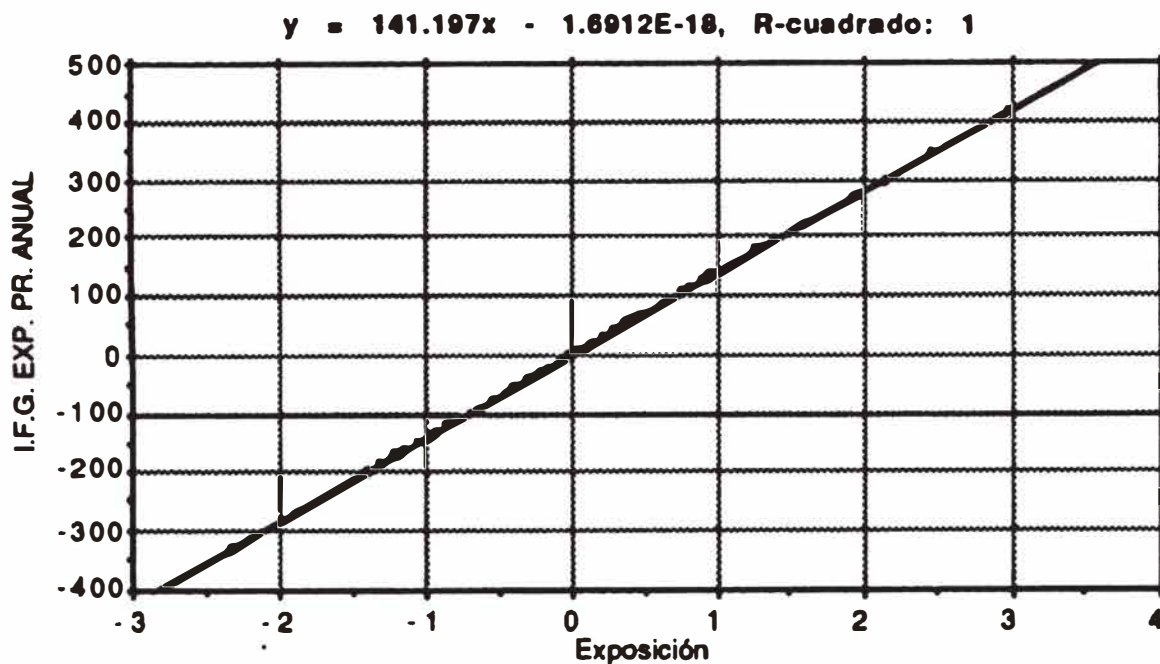


FIGURA 10.—*Correlación precipitaciones-exposición*

menos de $2'5^{\circ}$ de longitud, es decir, más al este, que son áreas en las que se registran menos precipitaciones, mostrando cierto matiz continental.

Los ejemplos más significativos son los de Valencia de Alcántara o Valverde del Fresno, situados muy al oeste, con un incremento pluviométrico importante, más de 70 milímetros anuales, demostrando la influencia o al menos el matiz oceánico que poseen sendos observatorios. Por el contrario, en el observatorio del Pantano de Cijara, situado muy al este (referido a Extremadura, obviamente), tiene una influencia negativa de la longitud, debido a que se registran más de 80 milímetros menos por esa circunstancia, estar situado al este. Entre esos casos extremos de influencia de la longitud existen otros muchos en los que se producen situaciones intermedias, tal como lo demuestra el gráfico correspondiente, de lo que se deduce que la longitud es una variable a tener muy en cuenta en cualquier análisis climático.

Si observamos la figura 10 veremos que la relación que se establece entre la exposición y las precipitaciones que ocasiona dicho factor geográ-

LA MATRIZ DE CORRELACIÓN LINEAL EN CLIMATOLOGÍA...

fico es prácticamente perfecta, deduciendo de ello que la exposición se muestra como uno de los factores geográficos que más influye en las precipitaciones, modificándola en gran medida. Esta alteración puede ser tanto un incremento como un decrecimiento de las precipitaciones en función de que esté más expuesta o menos al paso de los frentes, es decir, que se encuentre a barlovento o a sotavento.

La conjunción de estos gráficos y tablas resulta por sí sólo lo suficientemente explicativo como para que no quede la menor duda de las modificaciones tan variables que sufren las precipitaciones como consecuencia de la ubicación en el territorio de los distintos observatorios meteorológicos, considerando como ubicación los factores geográficos principales: altura del observatorio, altura del sistema montañoso o emplazamiento, latitud, longitud y exposición.

Esta diversidad en el comportamiento de las precipitaciones es apreciable en todos y cada uno de los observatorios, aunque como norma general, en los observatorios más elevados prima fundamentalmente el factor altitudinal sobre el resto, si bien la exposición y la latitud también ocasionan importantes divergencias.

De todo ello se deduce que los principales factores geográficos que influyen en las precipitaciones son la altura del observatorio, la latitud, la exposición y, en menor medida, el emplazamiento, teniendo poca importancia la longitud.

Esto es debido a que los principales parámetros geográficos son los que producen una mayor influencia en el clima de montaña, destacando de forma muy importante la altura del observatorio y la exposición, sobre todo en los observatorios que se encuentran situados a una mayor altura, aunque también la latitud incide de una forma muy importante, pues por estar situados más hacia el norte se ven más afectados por los frentes que cruzan la Península, máxime si se tiene en cuenta que los más frecuentes tienen una componente NW muy marcada. Por el contrario, los observatorios situados más al sur se ven afectados sobre todo por los frentes que tienen una componente SW, menos frecuentes que los anteriores. Así se explica que en los observatorios del norte cacereño se registren más precipitaciones debidas a la latitud, mientras que los del sur de Badajoz recogen un volumen de precipitación sensiblemente menor.

Si observamos detenidamente los comentarios que se deducen de la

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ MARTÍN

interpretación de la matriz de correlación de una forma tradicional y de otra más novedosa, nos percataremos de que esta última es mucho más convincente, sobre todo porque se llega a unas conclusiones mucho más reales. Es por ello que proponemos una depuración previa de las variables complejas, para de esa forma utilizar la matriz de correlación de la forma óptima, consiguiendo unos resultados mucho más ajustados y, a la vez, más fiables.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, T. W. (1984): *An introduction to multivariate statistical analysis*, Wiley, New York.
- BASSIST, A. N. (1989): «The relationship between orography and precipitation variability: a global view», en *Sixth Conference on Applied Climatology*, Charleston, U.S.A.
- CAPEL MOLINA, J. J. (1978): «Factores del clima en la Península Ibérica», *Paralelo 37º*, n. 4, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, Almería.
- CLAVERO PARICIO, P. L. *et al.* (1982): «La Climatología actual: el uso de métodos estadísticos y modelos probabilísticos. Proyecto de un estudio termoplumiométrico de Cataluña», *Notes de Geografía Física*, n. 8, Granada.
- CREUS NOVAU, J. y PUIGDEFABREGAS, T. J. (1978): «Influencia del relieve en la distribución de las precipitaciones máximas: un ejemplo pirenaico», *Cuadernos de Investigación Geográfica*, vol. 4, fascículo 1, Publicaciones del Colegio Universitario de La Rioja, Logroño.
- ESTÉBANEZ, J. y BRADSAW, R. (1979): *Técnicas de cuantificación en Geografía*, Tebar Flores, Madrid.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1983): «La disimetría pluviométrica entre las vertientes Norte y Sur del Sistema Central», *VII Coloquio de Geografía*, Pamplona.
- GARMENDIA, M. I. *et al.* (1989): «Factores determinantes de la precipitación anual en la vertiente cantábrica», *Meteorología y Climatología Ibéricas*, XVII Jornadas de la A.M.E., Lisboa-Salamanca, Salamanca.
- GURRIA GASCÓN, J. L. (1984): «La Correlación Lineal: Precisiones prácticas y su funcionalidad en la determinación de las similitudes y diferencias de los espacios geográficos», *Norba V*, *Revista de Geografía*, Servicio de Publicaciones de la UNEX, Cáceres.
- HAMMOND, R. y Mc. CULLAGH, P. S. (1982): *Técnicas cuantitativas en Geografía*, Saltés, Madrid.
- IBÁÑEZ, M. (1987): «Casualidad y causalidad en los fenómenos naturales», *Lurralde, investigación y espacio*, n. 10, Instituto Geográfico Vasco, San Sebastián.
- LEBART, L. *et al.* (1985): *Tratamiento estadístico de datos*, Marcombo, Barcelona.
- RASO NADAL, J. M. *et al.* (1987): *Estadística básica para las ciencias sociales*, Ariel, Barcelona.
- RUIZ URRESTARAZU, E. (1981): «Influencia de las montañas en los contrastes pluviométricos: El caso de la transición entre la costa vizcaína y el sector riojano del Ebro», *VII Coloquio de Geografía*, Pamplona.
- SÁNCHEZ MARTÍN, J. M. (1993): «El análisis de regresión aplicado al cálculo de las precipitaciones en las áreas montañosas de Extremadura», *Revista Alcántara*, n. 26, Institución Cultural El Brocense, Excelentísima Diputación Provincial, Cáceres.

LA MATRIZ DE CORRELACIÓN LINEAL EN CLIMATOLOGÍA...

IBIDEM (1994): *Los gradientes climáticos en Extremadura. Método óptimo para la obtención de variables termopluviométricas*, Editores varios, Cáceres.

UNWIN, D. J. (1977): «Statistical methods in physical geography», *Progress in Physical Geography*, vol. 1, Alden press, Oxford.

RESUMEN.—La matriz de correlación lineal es una de las técnicas estadísticas que más se usa en Climatología. Pese a ello, pensamos que se hace una mala utilización e interpretación de la misma, por lo que en este artículo hacemos unas breves reflexiones sobre los riesgos de la misma e intentamos dar una solución a los problemas planteados.

PALABRAS CLAVE.—Matriz de correlación. Regresión. Precipitaciones. Variables dependientes e independientes.

ABSTRACT.—The linear correlation matrix is one of the most widely used statistical technique in Climatology. However, we think that this methods is applied and interpreted badly. Therefore, in this article some brief reflections about the risks of this tecnique are presented and a solution to the problems involved is proposed.

KEY WORDS.—Linear correlation matrix. Regression. Precipitation. Dependent and independent variables.