

# ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN DEL PAÍS VASCO EN EL PERÍODO 1961-2000 MEDIANTE RECONSTRUCCIÓN ESPACIAL\*

Roberto Moncho<sup>\*\*,\*\*\*</sup>, Guillem Chust<sup>\*\*</sup> y Vicente Caselles<sup>\*\*\*</sup>

## RESUMEN

Los modelos climáticos regionales requieren una calibración y validación con datos reales. Las estaciones pluviométricas presentan en general una disponibilidad temporal y espacial escasa o incompleta, por lo que el análisis de la precipitación necesita información de apoyo. El objetivo de este estudio es la obtención de una serie pluviométrica del País Vasco mediante reconstrucción espacial, para analizar el período 1961-2000.

A pesar de la escasa disponibilidad temporal de las estaciones del País Vasco, éstas son suficientes para extraer conjuntamente la información temporal mediante el promedio de las anomalías estandarizadas, ya que presentan buena coherencia entre sí. Para la distribución espacial, se propone un modelo de regresión multivariada de predictores geográficos de la precipitación media y de la desviación típica, apoyándose en un Modelo Digital del Terreno (MDT). Con ello se obtiene una media espacial de la acumulación anual y de la desviación típica del País Vasco, de  $1250 \pm 20$  mm y  $230 \pm 10$  mm, respectivamente. El análisis de la serie obtenida indica que la tendencia de la precipitación en el País Vasco no es significativa para el período de 1961 a 2000, concretamente de  $0,1\% \pm 0,3\%$  por año.

**Palabras clave:** reconstrucción espacial, precipitación, cambio climático, País Vasco

## ABSTRACT

The regional climatic models require calibration and validation with reference data. The spatial and temporal availability of the rain station data are of a limited or incomplete nature; therefore, the analysis of rainfall requires ancillary information. The objective of this study is to obtain a rainfall time series of the Basque Country through spatial reconstruction to analyze the trend within the period of 1961-2000.

Despite of the scarce temporal availability of stations in the Basque Country, these are sufficient to extract temporal information through the averaging of the standardized anomalies, as they show good consistency with each other. For spatial distribution, we used a multivariate regression model of geographic predictors for the mean rainfall and standard deviation, based on a Digital Terrain Model (DTM). This provides a spatial mean of annual accumulation and the standard deviation of Basque Country of  $1250 \pm 20$  mm and  $230 \pm 10$  mm, respectively. The analysis of the time series indicates that the trend of rainfall in the Basque Country is not significant for the study period 1961-2000, since it is of  $0.1\% \pm 0.3\%$  per year.

**Key words:** spatial reconstruction, rainfall, climate change, Basque Country

\* Fecha de recepción: 1 de octubre de 2009.

Fecha de aceptación: 30 de octubre de 2009.

\*\* AZTI-Tecnalia, Unidad de Investigación Marina, Txatxarramendi ugarte a z/g. 48395 Sukarrieta. VIZACAYA (España). E-mail: [rmoncho@azti.es](mailto:rmoncho@azti.es)

\*\*\* Universitat de València, Departament de Física de la Terra i Termodinàmica, C/ Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot. VALENCIA (España).

## 1. INTRODUCCIÓN

Las proyecciones de los modelos globales de cambio climático para el siglo XXI prevén que en verano la precipitación disminuya en casi toda Europa (Christensen *et al.*, 2007; Goubanova y Li, 2006), y que en otoño sólo aumente ligeramente en áreas del Mediterráneo y del Mar Báltico. En invierno, los cambios son más variados dependiendo de la zona. Concretamente en el norte peninsular los modelos muestran un aumento no significativo de la precipitación invernal de entorno al 10%, con un error cercano al 20% (Déqué *et al.*, 2004; Goubanova y Li, 2006; Christensen *et al.*, 2007).

Para el estudio de los impactos causados por posibles cambios del régimen pluviométrico regional, es necesario extraer información de los modelos de cambio climático global. Sin embargo, dichos modelos requieren una calibración y validación con datos reales para su uso a nivel regional (Palmer *et al.*, 2008). En el caso del País Vasco, es necesario reconstruir la serie pluviométrica que abarca el período 1961-2000 y así comparar para el mismo período con los datos obtenidos a partir de distintos modelos regionales. La reconstrucción de la serie pluviométrica puede realizarse directamente usando los datos del reanálisis de circulación global ERA-40, procesado por el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF), como ya se ha realizado en otras regiones como en el norte de Eurasia (Khon *et al.*, 2007). No obstante, dichos reanálisis pueden presentar diferencias significativas unos con otros (Zolina *et al.*, 2004) y también con los datos medidos directamente (Lucarini, 2007), aunque sí son coherentes con las tendencias observadas en las estaciones (Bengtsson *et al.*, 2004).

La mayoría de estaciones pluviométricas de la Península Ibérica no presenta tendencias significativas durante el siglo XX, en lo referente a la acumulación total de precipitación y al número de días de precipitación superior a 1 mm (Castro *et al.*, 2005). En el norte de la Península Ibérica, únicamente se han registrado cambios significativos en la precipitación anual de la estación de Oviedo (Serrano *et al.*, 1999), con un aumento en la primera mitad del siglo XX y una disminución similar en la segunda mitad del siglo de unos  $-7 \pm 3$  mm/año, siendo más importante en primavera e invierno (López-Bustins *et al.*, 2008), y más generalizada para toda la Península Ibérica en el mes de marzo (Serrano *et al.*, 1999). Sin embargo, en los siglos XVI a XVIII podría haber acontecido una mayor variabilidad extrema de la precipitación del noroeste de la Península (Creus *et al.*, 1997, Castro *et al.*, 2005), como se muestra en la **Figura 1**.

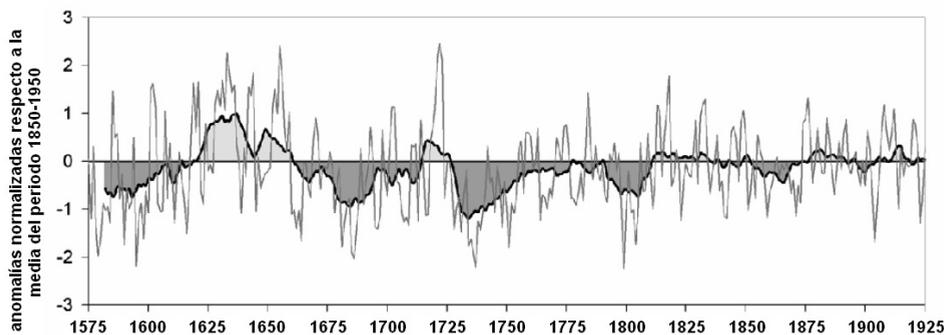


Figura 1. Anomalías de la precipitación anual del noroeste de la Península Ibérica para el período 1575-1925 (suavizado con media móvil de 15 años). Fuente: Creus *et al.* (1997).

En el caso del País Vasco, existe cierta dificultad para estimar una serie de precipitaciones suficientemente larga y representativa para todo el territorio, ya que la disponibilidad temporal es escasa en muchas estaciones y el reparto espacial de éstas es insuficiente para confiar en una interpolación sencilla, por lo que resulta necesario apoyarse en información topográfica (altura y orientación). Por esta razón, se requiere realizar una reconstrucción espacial y temporal de la precipitación mediante datos pluviométricos de las redes de estaciones meteorológicas.

El objetivo principal de este estudio es analizar la tendencia de la precipitación del País Vasco en el período 1961-2000, a partir de la reconstrucción espacial de la precipitación. La obtención de la serie pluviométrica representativa del País Vasco podrá usarse en un futuro para calibrar y validar los modelos regionales de cambio climático que se emplean en el estudio de impactos en el litoral del País Vasco.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Datos de precipitación

Para reconstruir una serie de precipitación representativa del País Vasco disponemos de datos anuales y mensuales de 132 estaciones de la red de estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología (ver **Figura 2.a**). Sin embargo, la disponibilidad de dichas estaciones depende del año, de tal modo que el número de estaciones útiles varía fuertemente con el tiempo, obteniendo dos períodos con máximos destacables, uno entre 1972 y 1980 y otro entre 1986 y 1995 aproximadamente (ver **Figura 2.b**).

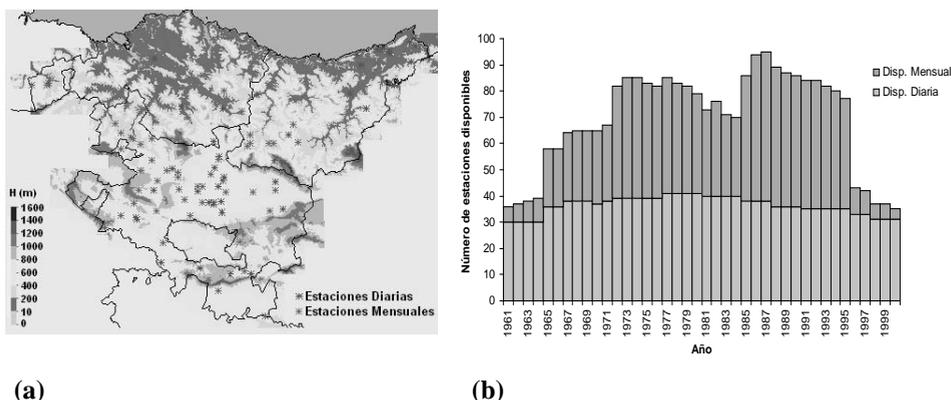


Figura 2. Estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) disponibles para el estudio.  
 (a) Distribución geográfica, donde H representa la elevación en metros respecto el nivel del mar.  
 (b) Distribución temporal para el período 1961-2000.

Además, muchas de dichas estaciones no presentan continuidad entre el año de inicio y el año final de actividad, sino que van activándose y desactivándose de forma irregular. Incluso dentro del período de funcionamiento máximo presentan interrupciones de meses o años. De hecho, de las 132 estaciones sólo disponemos 2.249 datos anuales, es decir menos de la mitad de los datos posibles con 40 años. De dichos datos, 859 se corresponden a 89 estaciones mensuales (14.372 registros mensuales), y 1.390 provienen de 43 estaciones con disponibilidad diaria (16.689 datos mensuales de 498.092 registros diarios). En definitiva, para el período 1961-2000, partimos de un volumen reducido de datos, ya que la mitad de las estaciones no alcanza ni si quiera el 50% de la cobertura temporal de la serie 1961-2000 y sólo 19 estaciones la completan de forma total.

## 2.2. Variables topográficas

Para determinar la distribución espacial de la precipitación media y desviación típica en nuestro caso, se ha utilizado la información topográfica derivada de un Modelo Digital del Terreno de 5m x 5m de resolución (Dirección de Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco, <http://www1.euskadi.net/cartografia/visor/catalogo/catalogo.htm>).

Según Fernández de Arróyabe (2005), la precipitación media del País Vasco depende fuertemente de la latitud y la longitud, y más débilmente de la altitud. Concretamente para la altura hace referencia a una distinta dependencia para una vertiente norte y vertiente sur, por lo que también hemos escogido como variable de interés la orientación. Por otro lado no consideraremos la distancia al mar ya que dicha dependencia es bastante similar a la de la latitud.

Una estación situada en una vertiente cantábrica que mira al oeste o norte será presumiblemente más lluviosa que una vertiente que mira al este o al sur (Garmendia, M. y Cols, 1989). Por lo tanto, para analizar la orientación podemos fijarnos en el ángulo azimut del

vector perpendicular a una cierta superficie centrada en cada punto. Entonces, las componentes de la orientación (medidas desde el este) son:

$$ox \equiv \cos Az \quad (1)$$

$$oy \equiv \sin Az \quad (2)$$

donde  $OX$  es la orientación hacia el este,  $OY$  es la orientación hacia el norte y  $Az$  es el ángulo del *Azimuth* (expresado en grados) correspondiente al plano medio que describe cada área de por ejemplo  $100\text{m} \times 100\text{m}$ , centrada en cada píxel de estudio. Igualmente, la precipitación puede diferir de una vertiente a otra en función de la pendiente ( $SP$ ), que expresaremos como el seno del ángulo de la pendiente ( $P$ ), de la misma superficie centrada de área  $100\text{m} \times 100\text{m}$ :

$$sp \equiv \sin p \quad (3)$$

De este modo las tres variables de orientación ( $OY$ ,  $OZ$  y  $SP$ ) han sido normalizadas como componentes del vector unitario de la orientación. Cabe destacar que se han analizado otras resoluciones distintas de la de  $100\text{m} \times 100\text{m}$  y se ha observado que no mejoran el resultado.

Por lo tanto, para nuestro estudio, hemos empleado 5 variables geográficas y topográficas primarias: *latitud* ( $CY$ ), *longitud* ( $CX$ ), *elevación* ( $Z$ ), *pendiente* ( $SP$ ) y el *azimut* ( $Az$ ), del que han derivado dos variables secundarias ligadas entre sí para evitar el salto de 2, dichas variables son la *orientación-este* ( $OX$ ) y la *orientación-norte* ( $OY$ ), que son las componentes de un vector unitario de dos variables con ángulo polar igual al azimut. Por otro lado, para el ajuste de la desviación típica se requieren algunas combinaciones de las variables anteriores, como es el caso de la variable “*vertiente noroeste*” ( $HNW$ ) que se obtiene de la combinación entre la elevación y la inclinación de la vertiente con orientación hacia el noroeste, según la **expresión**:

$$hnw \equiv z \cdot \sin p \cdot (oy - ox) \quad (4)$$

donde  $z$  es la elevación y  $p$  es el ángulo de la pendiente, mientras que  $OY$  y  $OX$  son respectivamente la orientación al norte y al este.

### 2.3. Reconstrucción de la distribución espacial de la precipitación media

Para el análisis de la precipitación del País Vasco, es posible tomar todos los datos disponibles de las estaciones y ajustar la precipitación para cada intervalo de tiempo a un modelo de distribución espacial. No obstante, en algunos años no se dispone de suficientes estaciones para lograr una buena correlación espacial. Además, eso supone un tiempo excesivo de cálculo y sin unas garantías de obtener correlaciones aceptables, ya que la precipitación de un mes de un año puede presentar una distribución espacial muy ruidosa afectada por eventos puntuales y dispersos (tormentas o temporales). Para solventar estos problemas, se ha separado la dependencia temporal de la dependencia espacial, realizando

así un menor número de análisis espaciales y con una mayor garantía de ajuste, ya que la distribución espacial de la media climática elimina gran parte del ruido espacial de las anomalías.

Concretamente, para estimar la media climática de la precipitación del País Vasco se ha realizado un ajuste espacial por regresión múltiple de los valores medios mensuales y anuales buscando una correlación aceptable entre los valores de las estaciones y un número eficiente de variables geográficas, que se han tomado como predictores (Ninyerola *et al.*, 2000). En el norte de la Península Ibérica, la precipitación puede presentar muchas diferencias entre una vertiente y otra de un sistema montañoso (Esteban *et al.*, 2009; Creus y Puigdefabregas, 1978), por lo cual se ha considerado que la precipitación de dos puntos cercanos puede tomarse como independiente a priori, y dependiente únicamente de las variables geográficas. Es decir, en dicho ajuste no tendremos en consideración la relación con la distancia media entre estaciones como se realiza habitualmente en geoestadística por krigeage (Journel y Huijbregts, 1978). En definitiva, en este trabajo se ajusta la precipitación ( $P$ ) a una regresión multivariada según la **expresión 5**,

$$P = \sum_i P_i = P_1 + \sum_i m_i \cdot x_i + \sum_j m_j \cdot x_i x_j + O(x^3) \quad (5)$$

donde  $P_i$  representa una constante de fondo que engloba todas las constantes de las respectivas contribuciones de las variables geográficas predictoras  $x_i$  según el coeficiente de regresión  $m_i$ , y de la combinación de variables de segundo orden,  $x_i x_j$  mediante el parámetro  $m_{ij}$ , así como de orden superior,  $O(x^3)$ .

No obstante, es posible que dicho ajuste sea insuficiente para representar adecuadamente la distribución espacial de la precipitación, ya que en el País Vasco tenemos la presencia de un importante sistema montañoso que delimita aproximadamente la provincia de Vizcaya con la de Álava (Montes Vascos), y por lo tanto esto podría diferenciar bruscamente la pluviometría de ambas provincias. Por ello, se propone realizar un segundo ajuste multivariado por zonas, es decir, buscando aquellas zonas cuyos límites-frontera minimicen el error de los ajustes.

Para establecer el modelo de regresión múltiple, en primer lugar se han seleccionado las variables que presentan mayor  $R^2$ -ajustado mediante el método de selección de modelos *stepwise*, para posteriormente aplicar la prueba-t y comparar las  $C_p$  de Mallows. El método de *stepwise* (Legendre y Legendre, 1998) consiste en realizar pruebas de diferentes modelos mediante la inclusión y la eliminación de las variables por pasos y selecciona el modelo cuyo coeficiente de correlación múltiple  $R^2$ -ajustado es el más alto y donde todos los coeficientes de regresión parcial  $m_k$  son significativos (es decir,  $m_k \neq 0$ ). Después de estimar los valores de los coeficientes  $m_k$ , se ha aplicado el modelo de regresión multivariada para todo el MDT. Por lo tanto, la media espacial de la precipitación del País Vasco viene dada por la **expresión 6**,

$$P_{esp} = \frac{1}{N_{xy}} \sum_{(x,y)} P_{(x,y)} \quad (6)$$

donde  $P_{esp}$  es la precipitación espacial media climática (1961-2000) representativa del País Vasco y  $N_{xy}$  es el número de píxeles del MDT, de tamaño  $5m \times 5m$ , correspondientes al País Vasco en los que se promedia el valor estimado de la precipitación puntual  $P_{(x,y)}$ , según el modelo multivariado de la **expresión 5**, aplicado al MDT.

Para estimar el error de la media climática  $P_{esp}$  a partir del modelo multivariado zonificado, se propone variar la elección de las fronteras y de las variables predictoras en cada caso. De este modo, dependiendo del valor de la dispersión, se han realizado un mayor o menor número de estimaciones (Taylor, 1997).

Respecto al cálculo de la desviación típica media del País Vasco, es posible realizar el mismo procedimiento que hemos seguido para el caso de la precipitación media, construyendo un modelo multivariado que se ajuste a los datos de las estaciones. Sin embargo se ha observado que el error de la desviación típica de algunas estaciones es sensiblemente mayor al error de la media debido a la escasa disponibilidad temporal. Por ello se ha propuesto disminuir el error usando la desviación típica normalizada con la media de cada estación, según la **expresión 7**,

$$\sigma_{i,nor} = \frac{\sigma_i}{P_i} \quad (7)$$

donde  $\sigma_i$  y  $P_i$  son respectivamente la desviación típica y la precipitación media anual para cada estación  $i$ , mientras que  $\sigma_{i,nor}$  es la desviación normalizada. De este modo el valor normalizado tiende a ser más uniforme, favoreciendo la corrección de los valores que distan mucho del valor predicho por el ajuste.

El ajuste de las desviaciones típicas normalizadas de las estaciones puede realizarse de la misma manera con la que se ha ajustado la precipitación media, es decir según un modelo multivariado de la misma forma que la **expresión 5**. Por lo tanto, dicho modelo puede aplicarse también a las variables topográficas del MDT para obtener una distribución espacial de la desviación típica normalizada,  $\sigma_{(x,y),nor}$ . Con ello, la media espacial de la desviación típica del País Vasco viene dada por la **expresión 8**,

$$\sigma_{esp} = \frac{1}{N_{xy}} \sum_{(x,y)} P_{(x,y)} \sigma_{(x,y),nor} \quad (8)$$

donde  $\sigma_{(x,y),nor}$  y  $P_{(x,y)}$  son la desviación normalizada y la precipitación media anual predichas para cada píxel  $(x,y)$  de los modelos ajustados, respectivamente, mientras que  $N_{xy}$  es el número de píxeles  $5m \times 5m$  del MDT del País Vasco y  $\sigma_{esp}$  es la media espacial de la desviación típica anual del País Vasco.

#### 2.4. Reconstrucción de la serie temporal de precipitación

Para analizar la información temporal de la precipitación, ha sido necesario estandarizar las anomalías y así poder comparar las estaciones. Por lo tanto, se han normalizado las anomalías respecto a la propia desviación estándar de cada estación, para cada año según la expresión matemática **9**,

$$f_{ij} = \frac{P_{ij} - \bar{P}_i}{\sigma_i} \quad (9)$$

donde  $f_{ij}$  y  $P_{ij}$  son, respectivamente, la anomalía estandarizada y la precipitación, del año-j y de la estación-i, mientras que  $P_i$  y  $\sigma_i$  son la media y desviación estándar de la precipitación anual de la estación-i. Con ello, la fase pluviométrica del País Vasco en el año-j,  $f_j$ , se define como la anomalía media de la precipitación anual según **expresión 10**,

$$f_j = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ij}}{n_j} \quad (10)$$

donde  $f_{ij}$  es la anomalía anual estandarizada del año-j y de la estación-i, y  $n_j$  es el número de estaciones activas en cada año. El error de la fase media, con un intervalo de confianza del 95%, viene dado por la desviación empírica de la media (**expresión 11**) según Schmid y Lazos (2004),

$$\varepsilon(f_j) = \frac{\sqrt{4 \sum_{i=1}^n (f_{ij} - f_j)^2}}{n_j} \quad (11)$$

donde  $\sigma(f_j)$  es la estimación de la desviación empírica de la media de las fases,  $f_j$ , definida en la **expresión 9**.

Obsérvese que la media de las anomalías estandarizadas nos da una anomalía cuya amplitud unidad equivale al promedio coherente de todas las desviaciones estándares, es decir, una anomalía media igual a +1 significaría que todas las estaciones están en fase +1 (anomalía pluviométrica igual a la desviación estándar), por lo que en ese caso la anomalía conjunta del País Vasco sería justamente el promedio espacial de la desviación estándar pluviométrica. Es por ello que para calcular la anomalía pluviométrica del País Vasco basta con multiplicar la fase media y la media espacial de la desviación típica, según la **expresión 12**:

$$P_j - P_{esp} = \sigma_{esp} \cdot f_j \quad (12)$$

donde  $f_j$  es la fase media del año-j y  $P_j$  es la precipitación espacial media del año-j del País Vasco, mientras que  $P_{esp}$  y  $\sigma_{esp}$  son respectivamente la media espacial de la precipitación media y desviación estándar ajustados con el MDT. También se han repetido todos los cálculos para los valores mensuales de la precipitación, y por lo tanto la anomalía de cada mes y de cada año para el País Vasco, viene dada por la **expresión 13**:

$$P_{kj} - P_{k,esp} = \sigma_{k,esp} \cdot f_{kj} \quad (13)$$

donde  $f_{kj}$  es la fase media del mes-k del año-j y  $P_{kj}$  es la precipitación espacial media del mes-k del año-j del País Vasco, mientras que  $P_{k,esp}$  y  $\sigma_{k,esp}$  son la media espacial de la precipitación media mensual y la desviación estándar del mes-k, respectivamente.

Respecto a los cálculos realizados sobre las estaciones,  $P_{est}$  y  $\sigma_{est}$ , la precipitación media y la media de las desviaciones típicas son una aproximación a los promedios espaciales del MDT,  $P_{esp}$  y  $\sigma_{esp}$ , de tal modo que la diferencia entre éstos viene dada por la no representatividad de la localización de las estaciones, respecto a los valores del País Vasco. No obstante, el porcentaje de ese sesgo en el valor anual es aproximadamente el mismo para los valores mensuales, sobretodo si el sesgo es pequeño, ya que éste representa una desviación sistemática por la localización de la muestra de estaciones, es decir,

$$\frac{\sigma_{k,est}}{\sigma_{k,esp}} \approx \frac{\sigma_{est}}{\sigma_{esp}} = C_o \quad (14)$$

donde  $\sigma_{k,est}$  y  $\sigma_{k,esp}$  son respectivamente la media de las desviaciones típicas mensual-k y anual de las estaciones pluviométricas de la AEMET, mientras que  $C_o$  es el valor del cociente  $\sigma_{est}/\sigma_{esp}$ . Y lo mismo ocurre para la precipitación media, es decir,

$$\frac{P_{k,est}}{P_{k,esp}} \approx \frac{P_{est}}{P_{esp}} = B_o \quad (15)$$

donde  $P_{k,est}$  y  $P_{est}$  son el promedio para todas las estaciones de la precipitación media mensual-k y anual de las estaciones pluviométricas de la AEMET, respectivamente, mientras que  $B_o$  es el valor del cociente  $P_{est}/P_{esp}$ . Por lo tanto, se ha aplicado la corrección del factor  $C_o$  y  $B_o$  en la estimación para cada mes del promedio espacial de la precipitación media y de la desviación típica del País Vasco,  $P_{k,esp}$  y  $\sigma_{k,esp}$ . Con dichos valores, y aplicando la **expresión 13**, se han podido calcular las anomalías mensuales representativas del País Vasco, y sumando la precipitación media de cada mes, se ha obtenido la serie de precipitaciones mensuales para el período 1961-2000.

## 2.5. Análisis de la tendencia de la serie

Finalmente, se ha analizado la tendencia de la precipitación ajustando un valor lineal de la precipitación ( $P_i'$ ) por mínimos cuadrados para cada tiempo  $t_i$ , tal que  $P_i' = a \cdot t_i + b$ , donde  $a$  y  $b$  son los parámetros de ajuste. El error de la tendencia  $\varepsilon(a)$  viene dado por la expresión:

$$\varepsilon(a) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - P_i')^2}{N(N-2)}} \quad (16)$$

donde  $P_i$  es la precipitación en el tiempo  $i$ ,  $P_i'$  es valor del ajuste lineal para el mismo tiempo, y  $N$  es el número de datos considerados. Así pues, comparando la tendencia con su error, obtenemos la significancia de la tasa de variación. Sin embargo, es necesario analizar posibles puntos de cambio, y para ello se ha realizado las pruebas estadísticas de

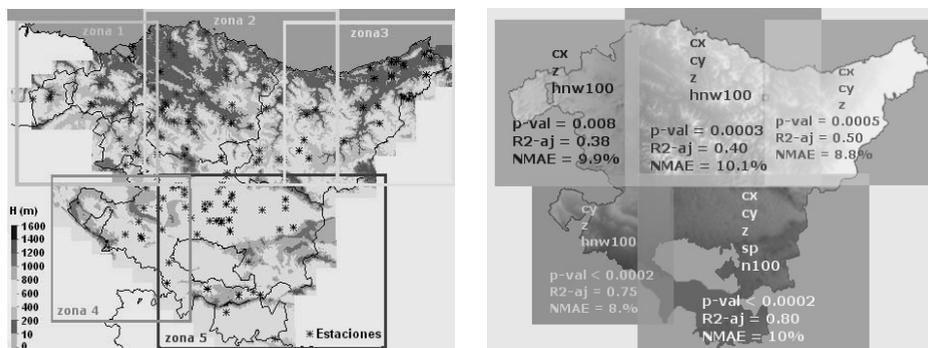
Worsley Likelihood Ratio (Worsley, 1979), Cumulative Deviation (Buishand, 1982) y la Distribución Libre de CUSUM (McGilchrist & Woodyer, 1975). A partir del posible punto de cambio de la media,  $t$ , se ha realizado prueba de t-Student (Kundzewicz y Robson, 2000), comparándola con la t-crítica ( $\sigma_{crit}$ ).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Reconstrucción de la distribución espacial de la precipitación media

Se han analizado las variables que ajustan de forma más eficiente la media y la desviación típica de la precipitación anual y mensual de cada estación. Concretamente, para la acumulación anual, se han seleccionado cuatro variables significativas (*latitud, longitud, elevación y pendiente*), con un Cp de Mallows de 5,6 y un R<sup>2</sup>-ajustado de 0,70 frente a los 0,71 del R<sup>2</sup>. Con todo ello, el error medio normalizado (NMAE) del modelo es del 14%, mientras que el p-valor es menor que 0,001, por lo tanto la significancia de la elección del modelo es superior al 99,9%.

Para mejorar el ajuste, se repitieron los cálculos agrupando las estaciones del País Vasco en 5 zonas que minimizan el error de los ajustes, según la **Figura 3**. El resultado muestra las zonas que presentan ciertas desviaciones respecto al patrón general de todo el País Vasco. Esas desviaciones están asociadas a los sistemas montañosos principales así como a las áreas que éstos delimitan. El peso de las variables predictivas es bastante diferente dependiendo de la zona de ajuste. Por ejemplo, en la mitad noroeste del País Vasco aparece como significativa la variable “*orientación noroeste*”, con un p-valor inferior al 0.05. Dependiendo de la zona, se obtiene un R<sup>2</sup>-ajustado de entre 0,4 y 0,8, así como un Cp de Mallows de entre 2 y 6.

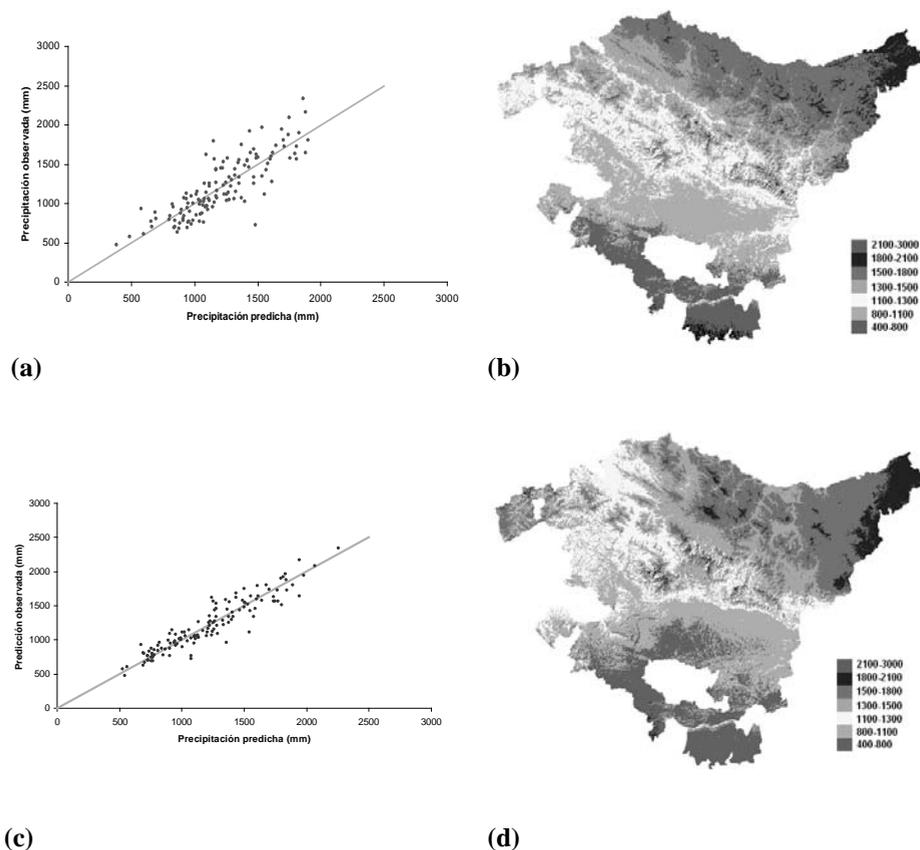


(a)

(b)

Figura 3. (a) Distribución de los límites de las cinco zonas que optimizan el nuevo modelo multivariado. (b) Selección de variables de cada zona y algunos parámetros estadísticos: p-valor del modelo en cada zona, R<sup>2</sup>-ajustado y error medio normalizado (NMAE).

De este modo, comparando los valores predichos con los observados, se obtiene un  $R^2$  total de 0,88 y un error medio normalizado (NMAE) de 9% para el conjunto de las estaciones, lo cual supone una mejoría notable respecto al ajuste lineal, en el que obtuvimos un NMAE del 14% y un  $R^2$  total de 0,71 (ver **Figura 4**).



**Figura 4.** Valores predichos de la precipitación anual media del País Vasco (1961-2000), en comparación con los valores observados de las estaciones del AEMET [figuras (a) y (c)], y valores predichos para el conjunto del País Vasco [figuras (b) y (d)]; según el modelo multivariado simple [figuras (a) y (b)], y según el modelo zonificado [figuras (c) y (d)].

Modificando las variables de ajuste zonal, se obtiene una dispersión inferior al 2% para el valor medio de la precipitación ( $P_{\text{esp}}$ ), por lo cual es suficiente con tres estimaciones. En la **Tabla 1** se compara la predicción de la precipitación media ( $P_{\text{esp}}$ ) según el modelo multivariado simple, y tres variaciones de la estimación por zonas. Así, el error del método será igual a la mitad de la dispersión del modelo por zonas (Taylor, 1997).

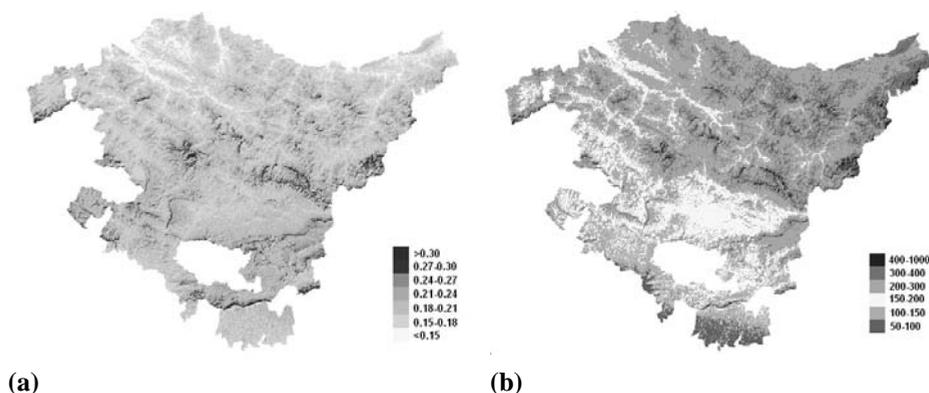
Tabla 1. Comparación de los diferentes ajustes de la precipitación anual (mm) al MDT.

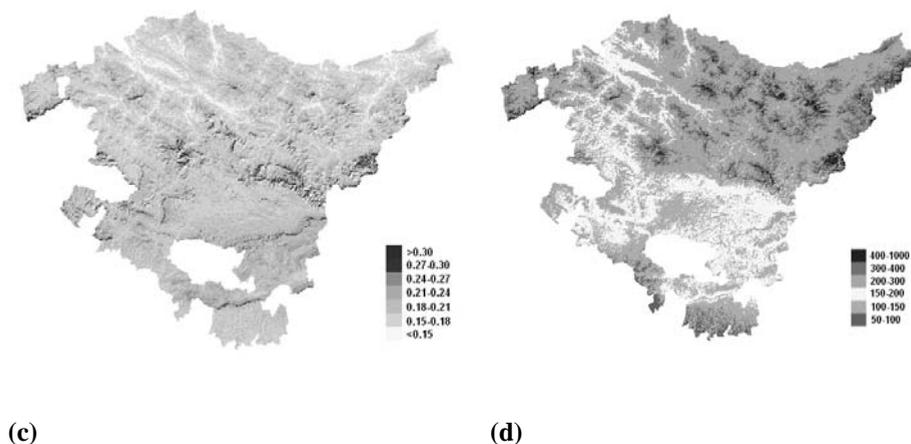
	<b>Media est. (real:1211)</b>	<b>NMAE</b>	<b>Media CPV (<math>P_{esp}</math>)</b>
Modelo simple	1211	0.141	1281
Modelo zonal I	1212	0.087	1248
Modelo zonal II	1213	0.092	1236
Modelo zonal III	1211	0.090	1257

Por lo tanto, la mejor estimación de la precipitación media de la CAPV es de  $P_{esp} = 1250 \pm 20$  mm para el período 1961-2000. Obsérvese que la diferencia entre la media obtenida con el DTM y la media obtenida directamente con las estaciones es del 4%, por lo que podemos decir que la media directa de las estaciones (corrigiendo dicho sesgo) es bastante representativa de la media espacial.

Para el ajuste de la desviación típica, se ha añadido la variable hnw (vertiente noroeste) ya que presenta un p-valor de 0,003, que es el mayor del modelo. Además se obtiene un Cp de 1,88 y la comparación entre el  $R^2$ -ajustado y el  $R^2$  es de 0,37 frente 0,39, con lo cual el NMAE es del 26%. Por otro lado, la desviación típica normalizada sólo depende de la pendiente y de la orientación (principalmente la componente oeste), con un p-valor inferior a 0,01, y con un Cp de 1,3, pero con un  $R^2$ -ajustado muy bajo (0,084).

Usando la desviación normalizada de cada estación, el resultado final de los ajustes (**Figura 5**) no presenta una variación con la latitud y la longitud de la desviación normalizada.





**Figura 5.** Desviación típica de la precipitación anual del País Vasco para el período 1961-2000, expresada en valor normalizado respecto la precipitación media [figuras (a) y (c)] y expresada en valor absoluto, en milímetros [figuras (b) y (d)], según el modelo multivariado simple [figuras (a) y (b)] y según el modelo multivariado zonificado [figuras (c) y (d)].

De forma similar a la que hemos realizado para la precipitación media del País Vasco ( $P_{\text{esp}}$ ), se ha obtenido un promedio espacial de la desviación típica  $d\sigma_{\text{esp}} = 230 \pm 10$  mm (ver **Tabla 2**).

Tabla 2. Comparación de los diferentes ajustes de la desviación típica (mm) al MDT.

	Media est. (real 203)	NMAE	Media CPV ( $P_{\text{esp}}$ )
Ajuste lineal	201	0,26	236
Ajuste zonal I	190	0,25	225
Ajuste zonal II	195	0,24	229

### 3.2. Reconstrucción de la serie temporal de la precipitación

Atendiendo el análisis temporal de la precipitación, se ha normalizado la serie temporal de cada estación mediante la media y desviación típica (ver **expresión 9**) para posteriormente promediar todas las series en una única serie temporal representativa del País Vasco según la **expresión 10**. Asimismo, se ha obtenido la serie mensual para las anomalías mensuales.

La fase media presenta un error relativamente pequeño (estimado según la **expresión 11**), concretamente es inferior al 15% para anomalías superiores a la mitad de la desviación típica de la serie ( $0,5\sigma$ ). Eso se debe a que en la mayoría de los casos las anomalías de precipitación de cada estación tienen el mismo signo que las de las estaciones del entorno (autocorrelación espacial). Sin embargo, el valor absoluto de la anomalía es diferente para

muchas zonas, ya que en general es proporcional a la media pluviométrica de cada estación. Por ello se promedian las anomalías estandarizadas y no las anomalías pluviométricas.

Finalmente, se ha multiplicado la serie temporal de anomalías estandarizadas y el promedio espacial de la desviación típica y de la media anual, obteniendo así la serie de precipitación anual del País Vasco para el período 1961-2000 (**Figura 7**).

Para estimar el promedio espacial para cada mes de la precipitación media y de las desviaciones típicas del País Vasco,  $P_{k,esp}$  y  $\sigma_{k,esp}$ , se ha supuesto que los sesgos son los mismos que para el caso anual,  $P_{esp}$  y  $\sigma_{esp}$  (**expresiones 14 y 15**), y en nuestro caso dichas desviaciones toman los valores de  $C_o = \sigma_{est} / \sigma_{esp} = 86,2\%$  y  $B_o = P_{est} / P_{esp} = 96,1\%$ , y por lo tanto, se obtiene la **Tabla 3**:

Tabla 3. Medias y desviaciones típicas anual y mensuales para el conjunto de estaciones ( $P_{k,est}$ ,  $\sigma_{k,est}$ ) y el promedio espacial del MDT ( $P_{k,esp}$ ,  $\sigma_{k,esp}$ ). El intervalo de error (con una confianza del 95%) para la precipitación media anual es del 1,5%, para la mensual es del 5%, mientras que para la desviación típica anual es del 5% y para la mensual es del 6%.

Periodo	$P_{k,est}$ (mm)	$P_{k,esp}$ (mm)	$\sigma_{k,est}$ (mm)	$\sigma_{k,esp}$ (mm)
Enero	123	128	76	86
Febrero	105	108	56	63
Marzo	108	111	53	60
Abril	136	141	63	71
Mayo	98	101	53	60
Junio	70	72	42	47
Julio	52	54	35	40
Agosto	66	68	46	52
Septiembre	79	82	45	51
Octubre	110	114	93	105
Noviembre	137	142	77	87
Diciembre	124	129	71	81
<b>Anual</b>	<b>1210</b>	<b>1250</b>	<b>203</b>	<b>230</b>

Con dichos valores ( $P_{k,esp}$ ,  $\sigma_{k,esp}$ ), y aplicando la **expresión 13**, se han podido calcular las anomalías mensuales representativas del País Vasco, y sumando la precipitación media de cada mes, se ha obtenido la serie de precipitaciones mensuales para el período 1961-2000, que quedan representadas en la **Figura 6**. Si agregamos los datos mensuales para generar nuevamente la serie anual, obtenemos la **Figura 7**.

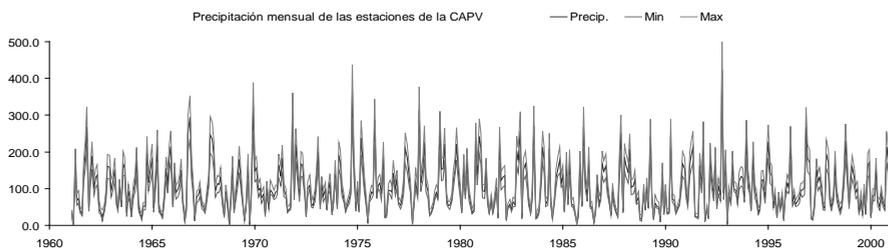


Figura 6. Serie de la precipitación mensual del País Vasco para el período 1961-2000. Las líneas grises representan el intervalo de confianza del 95% (que engloba el error de las fases, de la media y de la desviación típica).

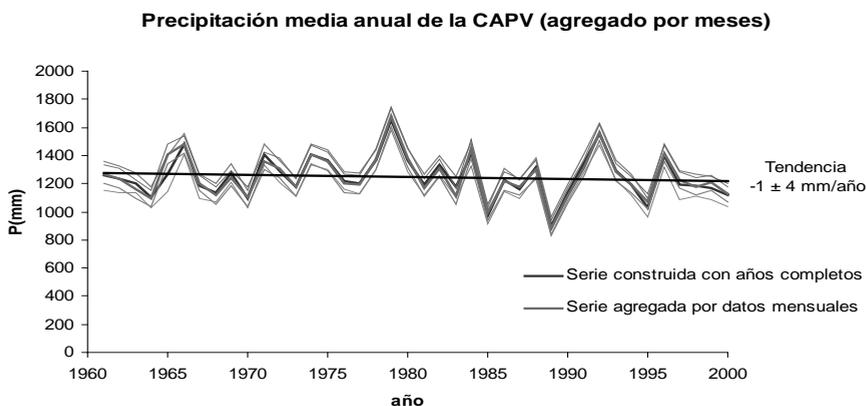


Figura 7. Serie de la precipitación anual del País Vasco para el período 1961-2000, construida con años completos y serie anual agregada por datos mensuales. Las líneas grises representan el intervalo de confianza del 95%.

Comparando la serie anual obtenida directamente con la serie anual obtenida por agregación de los meses vemos que ambas series se ajustan casi perfectamente (**Figura 7**). Las pequeñas discrepancias observadas se deben probablemente a una mayor precisión de la serie obtenida por agregación ya que en ésta se han tomado más datos anuales por el hecho de considerar también la precipitación mensual de años de datos incompletos anualmente.

### 3.2. Análisis de la tendencia

El análisis de la precipitación del País Vasco para el período 1961-2000 muestra que la tendencia no es significativa ( $-1 \pm 4$  mm/año,  $p$ -valor = 0,51). Se han realizando también las pruebas de cambio de Worsley Likelihood Ratio (Worsley, 1979) y Cumulative Deviation (Buishand, 1982), obteniéndose con ambos métodos un posible punto de cambio en 1985, similar con la Distribución Libre de CUSUM (McGilchrist & Woodyer, 1975),

en el que aparece un punto de cambio de segundo orden en 1985, pero con un error de 5 años. Con dicho punto hemos realizado la prueba de t-Student (Kundzewicz y Robson, 2000) para comparar la media anterior a 1985 (1293 mm) con la nueva media (1211 mm) y se ha obtenido una  $t = 1,74$  con un valor- $p = 0,090$ , lo cual significa que el cambio no es significativo, sin ser muy concluyente dado que está cerca del 0,05.

Por otro lado, a partir de la serie de precipitación mensual (**Figura 6**), podemos estimar las medias mensuales,  $P_k$ , las desviaciones típicas,  $\sigma_k$  y las tendencias mensuales,  $\sigma_k$  (ver **Tabla 4**). Teóricamente, las medias mensuales,  $P_k$ , deben ser las mismas que las medias espaciales,  $P_{k,esp}$  (ver **Tabla 3**), y de hecho no apreciamos diferencias significativas cuando comparamos ambos valores. En cuanto a las tendencias de las precipitaciones mensuales, la mayoría presentan disminuciones no significativas (concretamente ocho meses), sin embargo julio presenta un aumento significativo de  $+0,8 \pm 0,8$  mm/año. Aplicando las pruebas de cambio (Worsley Likelihood Ratio, Cumulative Deviation y Distribución Libre de CUSUM) se detecta un posible punto de cambio en 1976 para julio, en el que la media pasaría de 39 mm para 1961-1975 a 64 mm para 1976-2000. La prueba de t-Student muestra un p-valor inferior a 0,02 y por lo tanto la significancia de ese cambio es superior al 98%.

Tabla 4. Medias mensuales ( $P_k$ ) y desviaciones típicas mensuales ( $\sigma_{k,est}$ ) obtenidas de la serie temporal representativa del País Vasco. El intervalo de error se corresponde con una confianza del 95%.

Mes	$P_k$ (mm)			$\sigma_k$ (mm)			$\sigma_k$ (mm/año)		
		$\pm$			$\pm$			$\pm$	
Enero	126	$\pm$	4	75	$\pm$	2	-1	$\pm$	2
Febrero	107	$\pm$	4	56	$\pm$	2	-0,2	$\pm$	1,6
Marzo	108	$\pm$	4	51	$\pm$	2	-0,5	$\pm$	1,4
Abril	138	$\pm$	4	58	$\pm$	2	-0,1	$\pm$	1,6
Mayo	100	$\pm$	3	51	$\pm$	2	0,1	$\pm$	1,4
Junio	71	$\pm$	3	39	$\pm$	1	-0,1	$\pm$	1,1
Julio	54	$\pm$	2	31	$\pm$	1	0,8	$\pm$	0,8
Agosto	69	$\pm$	3	46	$\pm$	1	0,0	$\pm$	1,3
Septiembre	83	$\pm$	3	44	$\pm$	1	-0,2	$\pm$	1,2
Octubre	116	$\pm$	4	95	$\pm$	2	0	$\pm$	3
Noviembre	148	$\pm$	5	78	$\pm$	2	-1	$\pm$	2
Diciembre	132	$\pm$	4	71	$\pm$	2	-0	$\pm$	2
Anual	1252	$\pm$	14	153	$\pm$	10	-1	$\pm$	4

#### 4. DISCUSIÓN

Para establecer el modelo multivariado empleado en la distribución espacial de la precipitación media se requiere disponer de estaciones con series largas. Sin embargo, existe un gran número de estaciones con series inferiores a 20 años (65), por lo cual las medias climáticas no son significativas (Hann, 1908; y Flhon, 1968). Eso supone un problema no sólo para el establecimiento del modelo, sino también para la estimación del error del mismo,

ya que puede suceder que el modelo prevea una precipitación media muy diferente de la observada, señalándose como error predictivo a pesar de que podría tratarse incluso de un valor más cercano a la media climática real que el observado en pocos años.

Si comparamos la precipitación anual media del País Vasco obtenida por otros autores (Ortubai, 1995; Fernández de Arróyabe, 2005; Agencia Vasca del Agua, 2008; y Gobierno Vasco, 1999), la primera estimación que hemos obtenido (**Figura 4b**) muestra que los valores para el nordeste de Vizcaya están sobrestimados mientras que los del oeste están subestimados. Esto podría deberse a que el modelo multivariado simple no recoge bien la influencia de la parte oriental de la Cordillera Cantábrica, y en especial los Montes Vascos. De hecho, en términos generales, una estación situada en una vertiente cantábrica que mira al oeste o norte será presumiblemente más lluviosa que una vertiente que mira al este o al sur (Garmendia, 1989).

Por todas estas razones, se realizó una segunda versión del modelo multivariado, esta vez diversificándolo por zonas, de tal modo que la elección de los parámetros eficientes se realiza dentro de unas determinadas fronteras que minimizan los errores. Con ello se obtiene un error medio normalizado de 8,7% para el conjunto de las estaciones, lo cual supone una mejoría notable respecto al ajuste lineal. Por lo tanto, el error de la media espacial de la precipitación no viene dominado por la propagación de dicho error medio (ya que el error de la media disminuye con la raíz cuadrada del número de puntos considerados), sino que es necesario considerar el error del método de ajuste.

Si comparamos la precipitación media predicha por el modelo multivariado por zonas con otros trabajos, vemos que el resultado que presenta mayor similitud es la estimación de Ortubai (1995), en el que se considera un número de estaciones y una metodología similares, teniendo en cuenta también variables topográficas como predictoras (**Figura 8**). En todo caso, se aprecia una menor precipitación media en nuestra estimación que la obtenida por Ortubai (1995), en torno a unos 100 mm, que podría deberse a una disminución de la media a partir de 1985, aunque no parece un cambio significativo, como comentábamos anteriormente.

El resto de trabajos (Agencia Vasca del Agua, 2008; Fernández de Arróyabe, 2005; y Gobierno Vasco, 1999) han usado una metodología de interpolación espacial diferente, sin ninguna información geográfica de apoyo, por lo cual sólo se aprecian similitudes a rasgos generales.

Para estudiar la información temporal de la precipitación del País Vasco ha sido necesario normalizar las anomalías mediante la desviación típica, y así poder comparar estaciones muy diferentes entre sí en cuanto a precipitación media. La media de las anomalías estandarizadas informa sobre la fase de la precipitación (fase seca/húmeda), es decir, indica en que posición se encuentra dentro de la distribución de la variabilidad natural de la precipitación.

Así pues, podemos construir la serie temporal de la precipitación multiplicando la media de la desviación típica del País Vasco y la media para cada tiempo de las anomalías estandarizadas (o fase media). Nótese que la media espacial de la desviación típica no es equivalente a la desviación típica de la media espacial, ya que ésta última varía menos de un año a otro que lo que varía en cada uno de los puntos considerados (desviación típica puntual). Por consiguiente, para estimar la desviación típica de la precipitación del País

Vasco se necesita estimar la coherencia de la variación entre los distintos puntos, o lo que es lo mismo, se requiere calcular la fase media de las anomalías de todos los puntos, y en este caso sólo disponemos de una muestra variable de 132 estaciones (2.249 datos anuales y 31.061 datos mensuales).

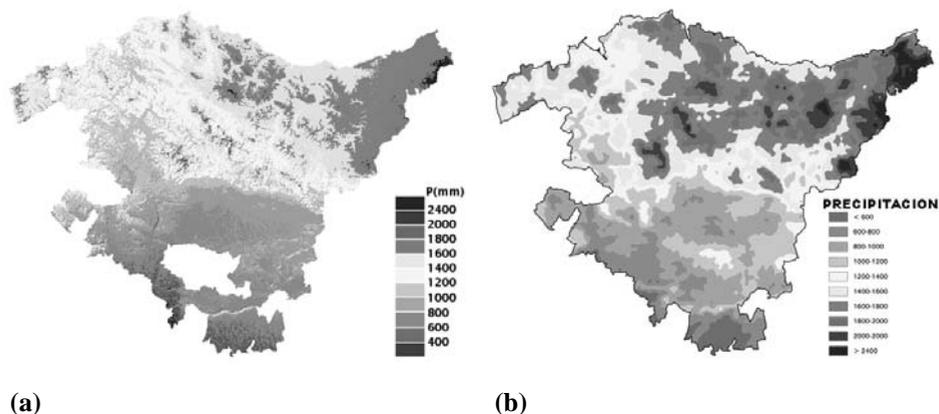


Figura 8. (a) Precipitación media anual para el período 1961-2000, estimada a partir del modelo multivariado obtenido con los datos de 132 estaciones del AEMET. (b) Precipitación media anual estimada a partir de un ajuste topográfico de 116 estaciones del AEMET disponibles hasta 1990, según Ortubai (1995).

En definitiva, para calcular la fase pluviométrica del País Vasco,  $f_p$ , se ha comprobado que existe una coherencia espacial aceptable de las anomalías estandarizadas, esto es, se ha visto que en general la sequía en una región se ve reflejada en las demás, y viceversa. Por ello, se puede considerar que las estaciones meteorológicas son una muestra poblacional representativa del territorio respecto a la media de las fases.

En cuanto a la tendencia de la precipitación media en el País Vasco para el período 1961-2000, podemos destacar que el hecho de no encontrar una tendencia significativa podría deberse a que 40 años son insuficientes para analizar cambios en la precipitación media (Kundzewicz y Robson, 2000). Además, este resultado es coherente con otros estudios realizados sobre series más largas, en los que tampoco se encuentran tendencias significativas para la precipitación media anual, aunque sí para algunos meses (Castro et al., 2005; Serrano et al., 1999; y López-Bustins et al., 2008). Sin embargo, existen predicciones climáticas en las que se pronostica un cambio de la precipitación estacional (Christensen et al., 2007; Goubanova y Li, 2006; y Déqué et al., 2004), por lo que este trabajo supone un punto de partida para validar y calibrar los modelos regionales de cambio climático referentes al País Vasco.

Respecto a las tendencias de la precipitación mensual, se observa que los cambios en general no son significativos, de acuerdo con otros autores (Castro et al., 2005 y Serrano et al., 1999). Sin embargo, para el mes de marzo se han detectado disminuciones significativas en otras zonas de la Península Ibérica (Serrano et al., 1999), pero en el País Vasco

la tendencia para ese mes no llega a ser significativa. Por último cabe destacar que el mes de julio presenta un ligero aumento significativo en los 40 años de datos. Dada la pequeña magnitud del aumento y el hecho de detectarse únicamente en un solo mes del año, es aún prematuro interpretar dicha tendencia como un cambio del régimen climático de ese mes, debido a la variabilidad interdecadal de la precipitación (Hann, 1908; y Flhón, 1968).

## CONCLUSIONES

Debido a la escasa disponibilidad en el País Vasco de datos históricos de precipitación, se ha reconstruido una serie temporal representativa de la precipitación del País Vasco mediante información topográfica. Concretamente en este trabajo, se ha empleado un Modelo Digital del Terreno, con el que se ha obtenido una distribución espacial de la media climática de la precipitación para el período 1961-2000, con un error absoluto medio (NMAE) del 9% para los puntos donde se ubican las estaciones. El error del método se ha estimado en 2,4% sobre el valor medio de la media espacial de la precipitación anual del País Vasco, que es de 1250 mm. En cuanto a la media espacial de la desviación típica del período 1961-2000, se ha obtenido el valor de  $230 \pm 10$  mm.

Por otro lado, se ha comprobado que existe una coherencia aceptable entre las anomalías anuales y mensuales de las distintas estaciones estudiadas, de tal modo que la anomalía media de la precipitación presenta un error absoluto medio inferior al 15% para anomalías superiores a la mitad de la desviación típica de la serie. De este modo, acoplando el análisis temporal y el análisis del promedio espacial de la media y desviación típica, se ha obtenido una serie representativa del País Vasco de precipitación anual y de precipitación mensual, que son coherentes entre sí.

Finalmente se han analizado los posibles cambios acaecidos en la serie de acumulación anual y mensual de 1961-2000, y con las limitaciones de este trabajo se obtiene una tasa de variación anual no significativa con un valor medio de  $-0,1 \pm 0,3$  %. Los diferentes tests estadísticos muestran una disminución no significativa de la precipitación media (de 1284 a 1205 mm, p-valor = 0,12) a partir de 1985. Las medias mensuales tampoco muestran en general cambios significativos, a excepción de julio, con una tendencia anual significativa de  $+1,5 \pm 1,5$  % (p-valor = 0,02), y un punto de cambio en 1976 (de 39 a 64 mm).

## AGRADECIMIENTOS

Roberto Moncho ha sido beneficiario de la beca Iñaki Goenaga de la Fundación Centros Tecnológicos, sin la cual este trabajo no hubiera podido ser posible. Además, agradecemos la colaboración de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y en especial de Margarita Martín, Directora de la Delegación Territorial de AEMET en el País Vasco, por aportarnos los datos meteorológicos necesarios para elaborar este estudio. Agradecemos también al Programa de subvenciones Etortek del Gobierno Vasco (proyecto *K-Egokitzen*) así como al Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca por poner a nuestra disposición los datos del Modelo Digital del Terreno que hemos empleado. Por último, agradecemos a Jon Saenz por la revisión del trabajo, que nos ha servido para mejorar algunos aspectos. Este artículo es la contribución nº 474 de A2TI-Tecnalia (Investigación Marina).

## BIBLIOGRAFÍA

- BENGTSSON, L; HAGEMANN, S, y HODGES, KI (2004): "Can climate trends be calculated from reanalysis data?". *J. of Geoph. Res.* Vol. 109, nº D11, art. D11111 (June 9 2004).
- BUIHAND, T.A., (1982): "Some methods for testing the homogeneity of rainfall records". *J. Hydrol.*, 58, 11-27.
- CASTRO, M. DE; J. MARTÍN-VIDE y S. ALONSO (2005). "El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI". In: *Impactos del cambio climático en España*, Capítulo 1.
- CHRISTENSEN, J.H.; B. HEWITSON, A.; BUSUIOC, A.; CHEN, X.; GAO, I.; HELD, R.; JONES, R.K.; KOLLI, W.-T.; KWON, R.; LAPRISE, V. ; MAGAÑA RUEDA, L.; MEARNS, C.G.; MENÉNDEZ, J.; RÄISÄINEN, A. ;RINKE, A.; SARR y P. WHETTON (2007): "Regional Climate Projections". In: SOLOMON, S.; D. QIN; M. MANNING, Z.; CHEN, M.; MARQUIS, K.B.; AVERYT, M.; TIGNOR y H.L. MILLER (Ed): *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom y New York, NY, USA.
- CREUS, J. y PUIGDEFABREGAS, J. (1978): "Influencia del relieve en la distribución de las precipitaciones máximas: un ejemplo pirenaico". *Cuadernos de Investigación. Geografía e Historia, Logroño*, tomo IV.
- CREUS J., FERNÁNDEZ A. y MANRIQUE E. (1997). "Dendrocronología y clima del último milenio en España. Aspectos metodológicos y avance de resultados". En: Ibáñez, Valero Garcés y Machado (eds.) *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación. Geoforma. Logroño*. Pgs. 311-331.
- DÉQUÉ, M.; ROWELL, D. P.; LÜTHI, D.; GIORGI, F.; CHRISTENSEN, J. H., ROCKEL, B.; JACOB, D.; KJELLSTRÖM, E.; DE CASTRO, M. y VAN DEN HURK, B.: "An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections". *Climatic Change*, Volume 81, Supplement 1 de mayo de 2007, 53-70.
- ESTEBAN, P.; NINYEROLA, M.; PROHOM, M. (2009): "Spatial modelling of air temperature and precipitation for Andorra (Pyrenees) from daily circulation patterns". 6th European Conference on Applied Climatology (ECAC, sep 2006), Ljubljana SLOVENIA. *Theoretical and applied climatology*. Vol. 96, nº 1-2, 43-56.
- FERNÁNDEZ DE ARRÓYABE, P. (2005): "Persistencia de la precipitación en la Comunidad Autónoma del País Vasco a partir de modelos markovianos. Regionalización mediante SIG". M. de tesis doctoral. Dep. de Geo. Fís. i An. Geo. Reg., UB.
- FLOHN H. (1968): *Clima y Tiempo*, Ed. Guadarrama. Madrid, 256 pp.

- GARMENDIA, M. y COLS. (1989): "Factores determinantes de la precipitación anual en la vertiente cantábrica". *Meteorología y climatología ibéricas*. Salamanca. Ed. Universidad, pp. 113-117.
- GOBIERNO VASCO (1999): "Plan Especial de Emergencias ante el Riesgo de Inundaciones de la Comunidad Autónoma del País Vasco". *Boletín Oficial del País Vasco* n.º 153, de 12 de agosto de 1999. Basado en EVE (1996): "Mapa hidrogeológico del País Vasco". Ed. *Ente Vasco de la Energía*.
- GOUBANOVA, K. y LI, L.: "Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations". *Global and Planetary Change* 57 (2007), 27–42.
- JOURNEL, A. G. y HUIJBREGTS, C.J. (1978). *Mining Geostatistics*, Academic Press, New York, 600 p.
- HANN J., 1908. *Handbuch der Klimatologie*, Ed. T.I. Allgemeine Klimalehre, Stuttgart, Alemania, 8, 394 pp.
- KHON, V. Ch.; MOKHOV, I.I.; ROECKNER, E., y SEMENOV, V.A. (2007): "Regional changes of precipitation characteristics in Northern Eurasia from simulations with global climate model". *Global and Planetary Change*, Vol. 57, n° 1-2 (May 2007), 118-123.
- KUNDZEWICZ, Z. W., y ROBSON, A. (2000): *World Climate Programme – Water detecting trend and other changes in hydrological data*. United Nations Educational Scientific and Cultural Org., WCDMP, 45 WMO/TD – N° 1013 (Geneva, May 2000).
- LEGENDRE, P. y LEGENDRE, L. (1998). *Numerical ecology*. Elsevier.
- LOPEZ-BUSTINS, J-A.; MARTIN-VIDE, J., y SANCHEZ-LORENZO, A. (2008): "Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns". *Global and Planetary Change* 63, 171–176.
- LUCARINI, V.; DANIHLIK, R.; KRIEGEROVA, I.; y SPERANZA, A. (2007): "Does the Danube exist? Versions of reality given by various regional climate models and climatological datasets". *J. Geophys. Res.*, 112, D13103, doi:10.1029/2006JD008360.
- MC-GILCHRIST, C. A. y WOODYER, K. D. (1975): "Note on a distribution-free CUSUM technique". *Technometrics*, 17(3), 32 1-325.
- NINYERONA, M.; PONS, X.; ROURE, J. M. (2000): "A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques". *Int. J. of Clim.*, Vol. 20, n° 14, 1823-1841.
- ORTUBAI, A. (1995): *Relación clima vegetación en la CAPV*. Tesis Doctoral n° 27, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- PALMER, T. N.; DOBLAS-REYES, F. J.; WEISHEIMER, A.; y RODWELL, M. J. (2008): "Toward seamless prediction: Calibration of climate change projections using seasonal forecasts". *Bulletin of the Am. Met. Society*. Vol. 89, No. 4 (2008), 459-470.

- SCHMID, W. A. y LAZOS MARTÍNEZ, R., J. (2004): Guía para estimar la incertidumbre de la medición. Centro Nacional de Metrología, México.
- SERRANO, A.; MATEOS, V. L., y GARCÍA, J. A. (1999): "Trend Analysis of Monthly Precipitation Over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995". Phys. Chem. Earth (B), Vol. 24, N° 1-2, 85-90.
- TAYLOR, J. R. (1997): An introduction to error analysis : the study of uncertainties in physical Measurements. 2° Ed., University Science Books, pp. 327.
- URA (2000): Informe relativo a los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE. URA - Agencia Vasca del Agua.
- WORSLEY, K.J. (1979): "On the likelihood ratio test for a shift in location of normal populations". J. Am. Stat. Assoc., 74, 365-376.
- ZOLINA, O.; KAPALA, A.; SIMMER, C., y GULEV, S. K. (2004). "Analysis of extreme precipitation over Europe from different reanalyses: a comparative assessment". Global and Planetary Change. Vol. 44, n° 1-4 (Dec 2004), 129-161.