

# CONSIDERACIONES SOBRE EL USO CLIMATOLÓGICO DE PARÁMETROS DE CAPA LÍMITE ATMOSFÉRICA Y ESTADO DEL SUELO: MODELOS Y MÉTODOS DE TELEDETECCIÓN

Joan CUXART RODAMILANS y Ernesto RODRÍGUEZ CAMINO  
*Instituto Nacional de Meteorología*

## RESUMEN

Tradicionalmente, los estudios climatológicos se han realizado mediante el análisis de series temporales de las variables atmosféricas básicas, tales como la precipitación, la temperatura, la humedad y la velocidad y la dirección del viento. En la actualidad, nuevas metodologías de trabajo, por ejemplo el uso de modelos numéricos de predicción del tiempo o del clima y la utilización de datos de teledetección, exigen series largas de otros parámetros, tales como el contenido de humedad del suelo, la temperatura superficial o los flujos de intercambio entre la superficie terrestre y la atmósfera. En este texto se presentan los requerimientos de series largas de parámetros no contemplados en la climatología tradicional, para satisfacer las necesidades de validación en tiempo pasado y tener un buen conocimiento en un área geográfica determinada del comportamiento del suelo y la capa límite atmosférica. Se introduce la necesidad de disponer de localizaciones de medida de referencia para dichos parámetros. En la segunda parte se insiste en la conveniencia de tener en cuenta la fenomenología de la Capa Límite Atmosférica y se sugiere el uso de simulaciones mesoscales a nivel de cuenca hidrográfica como nuevas fuentes de información en el análisis de series temporales, especialmente en los métodos de homogeneización de series y estudios de clima regional.

**Palabras clave:** Flujos de intercambio suelo-atmósfera, Estado del suelo, Modelos numéricos, Teledetección, Puntos de medida de referencia, Simulaciones a Mesoscala, Análisis de Series Temporales.

## ABSTRACT

*Traditionally, the climatological studies have been performed through the analysis of time series of the basic atmospheric variables, say the precipitation, the temperature, the humidity and the wind speed and direction. Nowadays, new methodologies such as numerical models for weather forecast or climate scenarios and the use of remote sensing data, require long series of other parameters, say soil moisture content, surface temperature or exchange fluxes between the earth surface and the atmosphere. In this paper the requirements of long series of parameters not considered in the traditional climatology are discussed, to fulfill the needs of validation in past time and to improve the knowledge in a certain geographical area of the behaviour of the soil and the Planetary Boundary Layer. The necessity of reference measuring sites of these parameters is intro-*

*duced. In the second part of the paper, the convenience of taking into account the phenomenology of the Planetary Boundary Layer is emphasized and the use of mesoscale simulations at the level of hydrographic basin is introduced, as a new source of information in the analyses of temporal series, especially in the methods of series homogeneization and regional clima studies.*

**Keywords:** Exchange fluxes between surface and atmosphere, Sub-surface State, Numerical Models, Remote Sensing, Reference measuring sites, Mesoscale simulations, Analysis of Temporal Series.

## 1. INTRODUCCION

Tradicionalmente, casi todos los estudios climatológicos se han realizado a partir de datos tomados en la Capa Límite Atmosférica (CLA). Suele tratarse de series de precipitación, temperaturas extremas tomadas a 1.5 o 2 metros de altura y viento a 10 metros. La comunidad científica que realiza estos análisis es consciente de la importancia que tienen variaciones en el instrumental o en el punto de medida y su entorno en la homogeneidad de estas series. Los métodos comunes de homogeneización se basan en relacionar series con roturas de homogeneidad con series cercanas en las que se suponen condiciones de medida estacionarias (en el sentido climatológico). No siempre se dan estas condiciones (proximidad de series adecuadas) y existen pocos registros de larga duración, con suficiente información acerca de los cambios de instrumental y entorno.

El hecho de que las medidas se tomen en la parte baja de la CLA, la denominada Capa Límite Superficial (CLS), introduce mayor complejidad en el estudio de las series. La mayor variación vertical de las variables meteorológicas se produce en la CLS, con gradientes de temperatura muy fuertes y perfiles de viento de tipo logarítmico, dependientes de la estabilidad de estratificación. Por ello, pequeñas variaciones en la localización vertical de los instrumentos pueden conllevar errores significativos. Muchas veces, este tipo de información no está disponible. Con una perspectiva de generación de series climatológicas de calidad, cualquier nuevo registro debe acompañarse de este tipo de información: altura precisa de los instrumentos de medida, condiciones de estabilidad presentes en la atmósfera en la CLA, y especialmente en la CLS, estado de la superficie, correlación entre variables medidas en un punto (por ejemplo, la temperatura máxima dependerá de la disponibilidad de humedad en el suelo, es decir de la precipitación y el balance hídrico en días precedentes), e información complementaria acerca de cambio de instrumental, de localización de los instrumentos y de cambios en el entorno del punto de medida.

Este tipo de aproximación al uso de los datos tomados en superficie se realiza cuando estos datos van a ser utilizados en modelos numéricos meteorológicos. Las estaciones que se utilizan para fines sinópticos tienen este tipo de documentación disponible en mayor o menor medida y se chequea su bondad y representatividad en el marco del funcionamiento de los modelos, mediante los módulos de inicialización, especialmente en aquellos que disponen de un sistema de asimilación variacional.

El advenimiento en las últimas décadas de modelos climáticos, y el uso de parametrizaciones cada vez más sofisticadas de los procesos físicos a representar en los modelos de predicción y clima, ha obligado a los modelizadores a disponer de campos fisiográficos de gran calidad. Estos incluyen

la orografía y los usos del suelo y su estado en un momento dado. En un principio, estos campos fisiográficos fueron fijados y se utilizan como condiciones de contorno inferiores de los modelos, introduciendo como mucho una variación estacional. Nuevos avances en las parametrizaciones de los esquemas de suelo han mostrado la gran sensibilidad de los modelos al estado de la superficie y es necesario actualmente progresar hacia una representación dinámica de estos campos. Ello requiere un seguimiento de tipo climatológico del estado de la superficie terrestre, y ello de un modo global. Para ello resultan fundamentales las observaciones realizadas a partir de datos de satélite, que deben ser validados en puntos de medida de referencia en la superficie. Por ello, en la primera parte del artículo se describirán las necesidades de los modelos numéricos del sistema climático y el papel de los datos de satélite en ellos y sus usos climatológicos.

En la segunda parte se introducirá la necesidad de tener en cuenta la fenomenología de la CLA en la interpretación de datos de series, especialmente cuando se relacionan dos series próximas. Para ello se propone la utilización de simulaciones a alta resolución, que pueden aportar información detallada acerca de la climatología dinámica a nivel de cuenca hidrográfica.

## **2. MODELOS NUMÉRICOS DE LA ATMÓSFERA: NECESIDAD DE CLIMATOLOGÍAS DEL ESTADO DEL SUELO**

Las características de la CLA están en gran parte determinadas por la superficie subyacente, bien sea ésta de tipo terrestre, marino o hielo marino. Dicha superficie hace las veces de contorno inferior para las ecuaciones del fluido atmosférico. En una primera aproximación se puede limitar la interacción con la superficie subyacente imponiendo, p.e., flujos constantes de las variables del modelo que simula el fluido atmosférico. Si se desea avanzar un paso más es necesario simular la evolución de la superficie subyacente, con un modelo predictivo de suelo y vegetación para el caso de superficie terrestre y con los correspondientes términos de acoplo que den cuenta de la interacción superficie-atmósfera. Obviamente, la precisión y grado de detalle con los que se simule tanto el sistema tierra/vegetación como los términos de acoplo tendrán un efecto beneficioso en la descripción y evolución de la CLA, que si por algo se caracteriza es por su fuerte interacción con la superficie inferior. La CLA hereda gran parte de sus propiedades al interactuar con la superficie terrestre/marítima. Para una aproximación al tema se recomiendan los textos de OKE (1978) y STULL (1988).

Los primitivos modelos numéricos, tanto de predicción del tiempo como climatológicos, incluían submodelos del sistema tierra/vegetación de una simplicidad extrema. El sistema tierra/vegetación se describía mediante una ecuación unidimensional (en la vertical) para la difusión de la energía y otra para la difusión del agua en el suelo. El sistema se discretizaba en 2-3 niveles y se imponían como condiciones de contorno superior los flujos de energía (radiativos, calor latente, calor sensible) e hídricos (precipitación, calor latente), respectivamente. El sistema tierra/vegetación venía caracterizado únicamente por la orografía, albedo y rugosidad, siendo esta última estimada fundamentalmente a partir de la desviación típica de la orografía subrejilla. Actualmente la mayor parte de los modelos que simulan la atmósfera incluyen una descripción detallada de los procesos fisiológicos de transpiración por parte de las plantas, en la medida en que dichos procesos están regidos por variables meteorológicas (p.e., radiación solar, temperatura ambiente, déficit de hume-

dad ambiente, contenido de agua en el suelo, concentración de dióxido de carbono, etc). Análogamente, una más fina formulación de las ecuaciones de difusión de la energía y del agua contenida en el suelo precisa del conocimiento de las propiedades físicas de difusividad térmica e hídrica, porosidad, densidad, capacidad calorífica, conductividad térmica, etc. Gran parte de estas propiedades dependen de la textura del suelo y pueden expresarse mediante simples funciones de la textura y del contenido en agua del suelo. Asimismo, las plantas se describen en los modelos mediante un conjunto mínimo de parámetros, entre los que se suelen incluir la cobertura vegetal (porcentaje de superficie de planta respecto a superficie total), índice de superficie foliar, profundidad de las raíces, resistencia estomatal, albedo de la planta, emisividad de la planta, parámetro de rugosidad (relacionada con la altura real), etc (VITERBO, 1996).

Cuando el sistema subyacente se trata de la superficie del océano, una primera aproximación para estimar los flujos de calor latente y sensible a la atmósfera consiste en suponer estacionariedad de la temperatura del agua de mar. Esta aproximación es razonable lógicamente sólo para predicciones a corto y medio plazo. Predicciones de tipo estacional requieren de una evolución de las temperaturas oceánicas o al menos de una prescripción climática cambiante a lo largo del año. Igualmente los flujos de momento pueden en una primera aproximación hacerse depender del viento en superficie, mientras que una formulación más fina precisa de la introducción de modelos de oleaje.

Si nos centramos en el caso de superficie terrestre, hasta ahora se han introducido unas características fisiográficas mínimas que son actualmente necesarias para describir la interacción atmósfera-tierra que conformará la CLA. Resumiendo, son necesarias las siguientes características del suelo: textura, albedo, orografía, rugosidad; y de la vegetación: cobertura, índice foliar, resistencia estomatal, profundidad de las raíces, albedo de la planta, rugosidad de la planta. La mayor parte de estos parámetros bien o son constantes en el tiempo o poseen una lenta variación estacional. No es este el caso de la resistencia estomatal que depende fuertemente de variables meteorológicas y del estado del suelo.

Un tema esencial para hacer simulaciones atmosféricas realistas es disponer de una condiciones iniciales lo más próximas posibles a las observaciones meteorológicas. La árdua tarea de asimilar las observaciones para disponer de condiciones iniciales en todos los puntos de la rejilla de cálculo de un modelo, implica aparte de una interpolación (los observatorios no coinciden con los puntos de rejilla), una eliminación de las escalas subrejilla y un ajuste de las distintas variables atmosféricas que evite una no deseada excitación de ondas gravitatorio-inerciales espúreas. La inicialización de las variables atmosféricas, p.e., viento, temperatura, humedad, presión, etc, si bien es compleja, se apoya fundamentalmente en las observaciones. Este no es el caso de algunas variables del subsistema suelo/vegetación. En particular del contenido de humedad del suelo. Por diversas razones esta variable no se observa de forma rutinaria en las estaciones terrestres, salvo algunas pocas estaciones de referencia. Los métodos de teledetección, en particular ciertos sensores de microondas, podrían estimar la humedad superficial, pero nunca la profunda correspondiente a la zona radicular de las plantas. Por otra parte, la evolución del contenido de humedad del suelo es muy lenta (salvo en la capa más superficial), con una escala temporal mensual o estacional, y por tanto una incorrecta inicialización puede afectar muy negativamente tanto a predicciones a corto plazo como a predicciones de tipo climático. Es evidente que el estado del suelo inicial (aparte de

los características de textura, vegetación, orografía, etc) debe conocerse en forma de los perfiles de temperatura y, sobre todo, contenido de agua. Este conocimiento de los perfiles de temperatura y contenido de agua es necesario igualmente para interpretar correctamente cualquier tipo de climatología de la CLA. Los flujos (de calor sensible, de calor latente, de momento) representan los términos de acoplo entre el sistema atmósfera y el sistema tierra/vegetación. En consecuencia, cualquier climatología de la CLA que pretenda ser exhaustiva precisará de un conocimiento de dichos términos de acoplo y del subsistema subyacente, que en el caso de la superficie terrestre abarca los perfiles verticales de temperatura y humedad y los parámetros fisiográficos que describen el suelo y vegetación.

Queda por mencionar el importante tema de la heterogeneidad de la superficie terrestre y su tratamiento. La superficie terrestre posee una gran variabilidad espacial en todas las escalas, como se puede apreciar examinando mapas de usos de suelo, de vegetación y de tipo de suelo. Lógicamente, los flujos de calor y de momento heredan dicha variabilidad espacial. Por otra parte, los flujos que proporcionan el acoplamiento entre la atmósfera y la superficie terrestre vienen expresados en función de características fisiográficas (p.e., albedo, parámetro de rugosidad, índice foliar, etc.) siendo dicha relación típicamente no lineal. Este comportamiento no lineal implica entre otras cosas que deja de ser válida la estimación de las características fisiográficas a la resolución de los modelos (p.e., 10 km) simplemente promediando los parámetros a partir de una base fisiográfica en alta resolución (p.e., 100 m). Es necesario considerar la relación no lineal entre parámetros fisiográficos y flujos superficiales utilizando un “promediado no lineal”. Es lo que se denomina agregación de parámetros.

Como se mencionaba al principio de este trabajo, el estudio climatológico de la CLA se ha venido basando tradicionalmente en el estudio de series temporales de variables atmosféricas próximas al suelo. El uso de modelos numéricos ha forzado la introducción del subsistema suelo/vegetación que constituye el contorno inferior de la CLA. Dicho subsistema posee una frecuencias características más lentas que las correspondientes a la atmósfera, siendo dichas frecuencias tanto menores cuanto más se profundiza en el suelo. El suelo actúa, a través del contenido en agua, como un integrador o filtro de paso bajo de las series temporales de precipitación. El estudio de la variabilidad del suelo a escala estacional, permite conocer la variabilidad atmosférica de baja frecuencia. Se puede considerar por tanto que series temporales de variables tales como el contenido de agua poseen de forma inherente una información de escalas temporales suficientemente largas como para ser relevantes en estudios climatológicos. Además, los términos de acoplo (los flujos superficiales) entre el subsistema atmósfera y el subsistema suelo/vegetación llevan información sobre: a) la interacción entre escalas; b) la repartición de la energía radiativa en calor latente y calor sensible; c) valor efectivo de los parámetros asociados al suelo/vegetación. En consecuencia, el estudio de series temporales tanto de flujos superficiales como de variables del suelo, singularmente del contenido de agua, permitirá extraer información muy valiosa para interpretar y caracterizar la CLA desde una perspectiva climatológica.

### **3. TELEDETECCIÓN: USOS Y NECESIDAD DE MÉTODOS CLIMATOLÓGICOS**

Frente a las necesidades de un conocimiento global del estado del sistema climático para múltiples usos, emerge desde hace unos años la observación por teledetección como la única alternati-

va posible para su caracterización a escala planetaria. Existen múltiples alternativas para ofrecer productos a la comunidad científica, tanto a nivel nacional (por ejemplo el Centro de Recepción, Proceso, Archivo y Distribución de Imágenes de Observación de la Tierra, CREPAD (2001)), como europeo (EUMETSAT: *Satellite Application Facility on Climate Monitoring*, 2001) o mundial (OMM: *Working group on satellites of the World Meteorological Organisation*, 2000). Estas organizaciones tratan de poner en fase las necesidades de los usuarios con las posibilidades de medida de los satélites y tanto el CREPAD como el SAF ofrecen productos elaborados de utilidad para el estudio del sistema climático.

Existen dos tipos de satélites meteorológicos: los geostacionarios y los de órbita polar. Su capacidad de medir distintas variables solo depende de la instrumentación que lleven instalada. Los geostacionarios tienen menor resolución horizontal debido a su órbita en 36000 km, mientras que los de órbita polar se sitúan alrededor de los 800 km de altura y tienen mayor resolución horizontal, pero menor resolución temporal al no tener una posición fija respecto a la superficie terrestre. La mayor parte de los campos superficiales se obtienen a partir de los satélites de órbita polar con buena resolución horizontal y precisión. Estos datos son susceptibles de ser validados en superficie, especialmente la temperatura superficial, el contenido en humedad del suelo, la precipitación, vientos superficiales y parámetros fisiográficos. Por contra, las medidas de perfiles verticales de variables de la atmósfera son de baja resolución vertical, especialmente cerca de la superficie. No se prevén resoluciones mayores de un 1 Km en la vertical en un futuro próximo. En este caso, sensores por teledetección localizados en la superficie pueden complementar la información, pero con el inconveniente de no tener cobertura global.

La resolución espacial (horizontal en los campos superficiales y horizontal y vertical en los tridimensionales) aumenta con las nuevas generaciones de satélites. La resolución deseada por cada usuario depende del tipo de utilización que vaya a hacer. En general, es de interés tener la mayor resolución posible de forma que cada usuario pueda aplicar sus propios métodos de degradación de escala.

Algunos de los productos disponibles o en fase de desarrollo son:

**Estado del suelo o del mar:** Cobertura de suelo, Temperatura de superficie, índice de área de hoja, índice normalizado diferencial de vegetación, Radiación fotosintéticamente activa, cobertura nivosa, humedad de los primeros centímetros del suelo, tipo de suelo, tipo de vegetación, dirección y velocidad de las olas, precipitación en superficie

**Componentes de la atmósfera:** Perfiles de aerosoles, de ozono, de humedad, de gases traza (incluyendo los relativos al efecto invernadero o a la capa de ozono), de componentes del ciclo del agua.

**Estructura de la atmósfera:** perfiles de presión, temperatura, humedad, agua de nube, altura y base de las nubes. Componentes de los balances de radiación en la superficie y la cima de la atmósfera. Los perfiles de viento se preparan para la próxima generación de satélites.

El paso de las radiancias medidas por los satélites a datos utilizables por los estudiosos del sistema climático depende de teorías cuya validez debe ser chequeada de manera permanente. Asimismo, los valores de los parámetros deducidos a nivel global deben ser comparados con valo-

res de referencia, medidas reales (dentro de lo posible) en puntos representativos de zonas extensas. Este es el caso para prácticamente todos los parámetros de superficie.

Los campos tridimensionales, para ser realmente útiles, son introducidos en sistemas de análisis mediante asimilación variacional, para asegurar su consistencia con los medidas de observación directa, tales como los radiosondeos. Dichos métodos dependen críticamente de la bondad de las parametrizaciones físicas que los modelos utilizan. Por ello, no puede desligarse en modo alguno la utilización de datos satelitales del estudio contínuo y mejora constante de las parametrizaciones físicas, básicamente esquemas de suelo, turbulencia, convección y radiación.

Por tanto, el uso a nivel global de datos de origen satelitario implica:

- a) Una aproximación climatológica a las series de los parámetros derivados para un buen conocimiento de sus valores medios y sus evoluciones temporales.
- b) La disponibilidad de puntos y áreas de medida en superficie de referencia, para la validación observacional de los parámetros derivados.
- c) Su introducción en sistemas de asimilación variacional para la generación de campos atmosféricos a nivel global.
- d) Un buen conocimiento de los procesos físicos de la atmósfera, tanto para la derivación de algoritmos para la generación de parámetros, como para su uso en validación y en asimilación variacional.

Los puntos (c) y (d) arriba mencionados tienen actividad muy bien definida en los campos de modelización atmosférica. En cambio, los puntos (a) y (b) están poco desarrollados en la actualidad. La generación de bases de datos climatológicas de parámetros superficiales es una actividad de gran importancia que no parece haber interesado suficientemente a la comunidad climatológica hasta este momento, y está básicamente en manos de físicos e ingenieros trabajando en temas de teledetección. Una mayor involucración de la comunidad de climatólogos en la definición de metodologías sería deseable, con las sinergias que ello puede implicar.

Por lo que se refiere al establecimiento de puntos y áreas de medida de referencia en superficie para el seguimiento y validación de los parámetros derivados de medidas satelitales, existe actividad iniciada en la década de los noventa, pero de forma individualizada y sin una metodología bien definida. Existen varios observatorios en Europa que están siendo reinstrumentados con voluntad de seguimiento climatológico: Lindenberg, dependiente del Servicio Meteorológico Alemán, Cabauw, del Holandés, el Centro de Investigaciones de la Baja Atmósfera (CIBA), del Instituto Nacional de Meteorología y la Universidad de Valladolid, Sodankyla, del Servicio Meteorológico finlandés, Uppsala, de la Universidad de Uppsala. Estos centros han iniciado contactos para constituirse en red europea de observación para proporcionar datos con criterios unificados a las comunidades de modelizadores climáticos y de teledetección. Una vez constituida, esta red puede ampliarse de forma a tener progresivamente una mejor cobertura de diferentes tipos de terreno en Europa.

De esta manera, se pretende generar bases de datos observacionales de calidad contra las que contrastar la bondad de los datos satelitales y la bondad de las aproximaciones que se hacen para obtenerlos. Estas bases de datos observacionales deben tener un carácter climatológico, estando sometidas a criterios standard de calidad. Es de interés que sean lo más completas posible y con voca-

ción de larga duración, de forma que sea posible regenerar productos con datos antiguos al aparecer nuevas formas de procesado de los datos brutos. Asimismo, estos puntos pueden servir para realizar experiencias de validación de parametrizaciones físicas de forma coordinada, en condiciones ambientales muy distintas. Estos laboratorios de referencia se están dotando también de sistemas de teledetección terrestre, con el fin de complementar la información disponible en cada punto: sodares, RASS, lidares y radares.

En el caso del CIBA, situado en una zona de terreno muy homogéneo - la cuenca alta del Duero - de gran extensión geográfica y con usos de suelo poco diversificados, se lleva a cabo un control sobre el terreno de los parámetros fisiográficos a nivel de cuenca por parte del Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid, y se medirán con objetivos climatológicos los parámetros que determinan el estado del suelo, tales como temperatura superficial y del subsuelo a varios niveles, contenido en humedad del suelo y flujos de temperatura y humedad en el subsuelo y en la capa superficial atmosférica. Asimismo, se controlará el estado de la Capa Límite atmosférica mediante medidas directas en sus 100 primeros metros con una torre meteorológica y en su primer km mediante el uso de sistemas de teledetección basados en superficie (RASS/Sodar, Lidar y Radar Doppler).

#### **4. IMPORTANCIA DE LA CLA Y SU DINÁMICA MESOSCALAR EN EL ESTUDIO DE SERIES Y EN CLIMATOLOGÍA REGIONAL.**

En este apartado se harán una serie de consideraciones sobre cómo el conocimiento del comportamiento de la CLA, el estado del suelo y la dinámica mesoscalar pueden ser de utilidad para la homogeneización de series temporales climáticas y en estudios de climatología regional.

No existen muchas series en la Península Ibérica con longitud suficiente para ser útiles para estudios de variabilidad climática en escalas temporales próximas al siglo o de detección del cambio climático. En la actualidad cada Servicio Meteorológico ha designado un conjunto de estaciones, en su mayoría pertenecientes al *Global Climate Observation System* de la Organización Meteorológica Mundial, como estaciones de referencia climatológica. De esta manera se comprometen a garantizar una continuidad en las observaciones que unidas a las ya efectuadas proporcionen series homogéneas largas. En casos como estos sería conveniente complementar la información de cada sitio de medida con estudios locales de CLA. Esto es, estimar mediante campañas de medida, los gradientes de las variables de importancia (temperatura, humedad y viento) en la Capa Límite Superficial, así como el comportamiento climatológico de la repartición de los flujos de calor en sensible y latente. En su defecto, estimar dicha repartición a partir de las teorías existentes de semejanza en la CLS. Idealmente, sería conveniente disponer de este tipo de información en cualquier estación, de forma que, al relacionar series, estos factores pudieran ser tenidos en cuenta. Pero su existencia para las estaciones más importantes permitiría el establecimiento de una metodología.

Asimismo, es conocida la importancia que la localización de una estación de medida tiene para la representatividad climatológica de dicha estación en una región dada. Por tanto la "distancia climática" entre dos estaciones dadas es, *grosso modo*, tanto mayor cuanto mayores sean las irregularidades en el terreno en que se hayan situadas, y ésta por ejemplo aumenta mucho al atravesar una cordillera. En el caso de intentar la homogeneización de los datos de una serie a partir de



los de otra “próxima” auxiliar, o incluso al abordar la detección de la falta de homogeneidad por tests de homogeneidad relativa del tipo del Estandar Normal de Homogeneidad o de Alexandersson, estas consideraciones son relevantes. Sin embargo, en la práctica, como hasta ahora el problema de la homogeneidad de las series, en sus dos vertientes de análisis de la misma y corrección de series inhomogéneas, se ha restringido casi siempre a estadísticos en escalas temporales iguales o superiores al mes, estos factores han podido ser en mayor o menor medida soslayados.

Pero a medida que los estudios climatológicos desciendan a dato diario y no digamos horario, cualquier intento de reconstruir datos por falta de homogeneidad, o incluso la detección de inhomogeneidades que no han sido detectadas en pasos previos de análisis en escalas mensuales o superiores, ha de pasar necesariamente por consideraciones detalladas tanto dinámicas como de parámetros fisiográficos en escalas espaciales mucho más reducidas de lo que ha sido habitual hasta ahora. Un ejemplo claro es el de la homogeneización de una serie tomada en un valle con datos de una serie cercana fuera del valle. Conocer como los flujos son condicionados por la topografía es, en este caso fundamental para poder relacionar las dos series. La misma argumentación es válida para estaciones cercanas sobre distintos tipos de terreno. Terrenos con mayor capacidad de retención de humedad en el suelo tendrán mayores flujos de calor latente y, por tanto ciclos diurnos más atenuados, que series cercanas sobre suelos distintos, como por ejemplo, series tomadas en medios asfaltados. La heterogeneidad del suelo es asimismo fuente de circulaciones mesoscalares cuyo conocimiento es crucial a la hora de interpretar un estudio estadístico de series temporales. Un ejemplo de esto último lo constituyen las brisas entre una zona boscosa y una zona despejada, similar a las brisas marinas pero menos intensas.

Se impone pues, la necesidad de disponer de climatologías dinámicas locales, preferentemente por cuencas y sub-cuencas hidrográficas, que actualmente pueden ser generadas mediante modelización mesoscalar a alta resolución. El aprovechamiento de la información generada por las climatologías dinámicas a la hora de establecer modelos para la relación de variables climáticas entre distintos puntos es un campo que está en su mayor parte, según el conocimiento de los autores, por desarrollar. En cambio, el advenimiento de los Sistemas de Información Geográfica ha permitido la introducción generalizada de parámetros fisiográficos, y en particular del relieve, en el estudio del clima a escalas regionales. Quizás debería profundizarse por este camino introduciendo mayor información a partir de las climatologías dinámicas.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha intentado dar un esbozo de algunos temas relevantes en el ámbito de la climatología en la Capa Límite Atmosférica. Teniendo en cuenta que la mayor parte de los datos se toman en la parte más cercana al suelo, la Capa Límite Superficial, que presenta muy rápidas variaciones en la vertical, deben considerarse las especificidades de dicha capa de la atmósfera a la hora de estudiar los datos. Asimismo, se ha insistido en la necesidad de conocer el estado de la condición de contorno inferior, el suelo, que determina completamente el valor de los flujos de intercambio entre la superficie y la atmósfera y, consecuentemente, los valores de parámetros climatológicos clásicos, tales como las temperaturas extremas. A partir de ello, se propone que los estudios de series climatológicas sean ampliados teniendo en cuenta dicha información allí donde esté disponible.

Seguidamente se han introducido las nuevas necesidades de tipo climatológico que los modelizadores tienen para una adecuada representación de la superficie en los modelos y su vinculación con los estudios de los procesos físicos en la parte baja de la atmósfera. Se insiste en la necesidad de emprender climatologías de Capa Límite en puntos de referencia para tener información completa del comportamiento de la baja atmósfera en regiones de interés. Dichas climatologías idealmente deberán considerar variables atmosféricas en la CLS, variables del suelo (temperatura y contenido de agua) y términos de acoplo (flujos superficiales). Se debe insistir en lo relevante de las distintas escalas consideradas. La CLA evoluciona principalmente siguiendo el ciclo diurno mientras que el suelo evoluciona con escalas temporales netamente más largas que son relevantes para cualquier estudio climático.

La necesidad de disponer de datos de cobertura global para el estudio del sistema climático obliga a utilizar los datos procedentes de satélites. Estos datos deben ser validados a escala local para su correcta utilización a escala global. La validación local debe realizarse por comparación con medidas observacionales en superficie. Su introducción en módulos de inicialización de modelos mediante asimilación variacional permite una validación a mayor escala. Para ello, buenas parametrizaciones de los procesos físicos son necesarias y su validación forma parte del proceso. Puntos de medida de referencia en diversas partes del globo son necesarios y se están constituyendo redes de colaboración en este tema. Una visión climatológica de los datos generados es imprescindible y se requiere el desarrollo de metodología específica para ello.

Finalmente, se ha indicado la necesidad del conocimiento de la dinámica mesoscalar a nivel de cuenca hidrográfica así como del conocimiento del estado del suelo para una adecuada comprensión de los registros climatológicos y se ha indicado la dificultad de la introducción de este conocimiento en el tratamiento comparado de series temporales.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda de Beatriz Navascués por su asesoramiento en la parte de teledetección y de José Antonio López por sus aportaciones en los conceptos de tratamiento de series temporales.

## 7. REFERENCIAS

- CREPAD (2001): Centro de Recepción, Proceso, Archivo y Distribución de Imágenes de Observación de la Tierra, <http://www.crepad.rcanaria.es>
- EUMETSAT (2001): European Meteorological Satellite Organisation, <http://www.eumetsat.de>
- OMM (2001): WMO Satellite Activities; <http://www.wmo.ch/hinsman/Publications.html>
- OKE, T.R. (1978): "*Boundary-Layer Climates*". Methuen Eds., London, 372 pp.
- STULL, R.B. (1988): "*An Introduction to Boundary Layer Meteorology*". Kluwer Eds., Dordrecht, 666 pp.
- VITERBO, P. (1996): "*The Representation of Surface Processes in General Circulation Models*". ECMWF, 201 pp.