

CHAPTER 13 / CAPÍTULO 13

***Information systems climatology: the
CLIMA (Andalusian Information
Subsystem for environmental
Climatology)***

**Los sistemas de información
climatológica: el CLIMA (sistema
de información de climatología
ambiental de Andalucía)**

Information systems climatology: the CLIMA (Andalusian Information Subsystem for environmental Climatology)

María Fernanda Pita López¹, Juan Mariano Camarillo Naranjo¹, Mariano Corzo Toscano² & José Ignacio Álvarez Francoso¹

¹Departamento de Geografía Física. Universidad de Sevilla. c/ María de Padilla s/n. 41004 Sevilla. mfrita@us.es; jmcamarillo@us.es; jose_afra@yahoo.es

²Empresa de Gestión Medioambiental, S.A (E.G.M.A.S.A). c/ Johan G. Gutenberg. Isla de la Cartuja. 41092 Sevilla. mariano.corzo.ext@juntadeandalucia.es

ABSTRACT

The meteorological variables are immersed in a wide spectrum of physical-environmental, territorial, social and economical factors which affect our societies. The production process of meteorological information has undergone, at the same time, an exponential increment in the last two decades throughout the Spanish territory. Also, the need for a quality, accessible, useful and complete information from the various studies and applications in which climatological and meteorological variables are integrated, have generated the need to approach the design and implementation of Information Systems that respond to these needs that have risen.

Andalusia has responded to this demand by launching the CLIMA, Andalusian Information Subsystem for environmental Climatology. This information system was designed to guarantee the integration of the existing observation stations and networks within the Andalusian territory (Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Agricultura, Consejería de Agricultura y Consejería de Medio Ambiente, Instituto Nacional de Técnicas Aeroespacial, etc...), guarantee the homogeneity and quality of the huge amount of information generated in the last decades, ensure public access to this information and finally generate environmental managing applications based on the data integrated in the system.

This press release gathers basic information about the design and implementation of CLIMA, closely looking into the essential methodological aspects of the project: the observation network integration, the design of interpolation and validation methods applied to the different variables measured in the meteorological observatories and the usage of the current database as well as its broadcast on the internet. (www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web).

Key words: *Information systems, environmental climatology, database, broadcast.*

Los sistemas de información climatológica: el CLIMA (sistema de información de climatología ambiental de Andalucía)

María Fernanda Pita López¹, Juan Mariano Camarillo Naranjo¹, Mariano Corzo Toscano² & José Ignacio Álvarez Francoso¹

¹Departamento de Geografía Física. Universidad de Sevilla. c/ María de Padilla s/n. 41004 Sevilla. mfrita@us.es; jmcamarillo@us.es; jose_afra@yahoo.es

²Empresa de Gestión Medioambiental, S.A (E.G.M.A.S.A). c/ Johan G. Gutenberg. Isla de la Cartuja. 41092 Sevilla. mariano.corzo.ext@juntadeandalucia.es

RESUMEN

Las variables meteorológicas se encuentran involucradas en un amplio abanico de los procesos físico-ambientales, territoriales, sociales y económicos que afectan a nuestras sociedades. Los procesos de producción de información meteorológica han sufrido, paralelamente, un incremento exponencial en las últimas dos décadas en el conjunto del territorio español. Por otro lado, las exigencias de una información completa, de calidad, accesible y útil por parte de los numerosos estudios y aplicaciones en los que las variables meteorológicas y climáticas se integran, han generado la necesidad de abordar procesos de diseño e implementación de Sistemas de Información que respondan a estas necesidades planteadas.

La respuesta a esta necesidad en Andalucía ha sido la puesta en marcha del Subsistema de Información de Climatología Ambiental de Andalucía (CLIMA). Dicho Sistema de Información debía garantizar la integración del conjunto de redes y estaciones de observación existentes en el territorio andaluz (Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Agricultura, Consejería de Agricultura y Consejería de Medio Ambiente, Instituto Nacional de Técnicas Aeroespacial, etc...), garantizar la homogeneidad y calidad del ingente volumen de información generada en las últimas décadas, permitir el acceso público a dicha información y generar aplicaciones de gestión ambiental a partir de los datos integrados en el Sistema.

La comunicación recoge información básica sobre el proceso de diseño y puesta en explotación de CLIMA, deteniéndose en los aspectos metodológicos esenciales que presidieron dicho proceso: integración de redes de observación, diseño de los métodos de validación e interpolación aplicados a las distintas variables medidas en los observatorios meteorológicos y explotación del banco de datos actual y difusión del mismo a través de Internet (www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web).

Palabras clave: sistemas de información, climatología ambiental, banco de datos, difusión.

INTRODUCCIÓN

El clima, como componente básico de nuestro sistema físico, se encuentra involucrado en una multitud de procesos físico-naturales, sociales y económicos. El papel que las distintas variables climáticas juegan en el desarrollo de estos procesos exigen un esfuerzo de medición y control que se ha multiplicado en las últimas dos décadas. Esta necesidad se ve reforzada ante fenómenos climáticos y meteorológicos adversos, entre los que destaca por su actualidad el Cambio Climático. La preocupación surgida en relación con la alteración del clima a nivel global ha trascendido el nivel científico y ha pasado a ser una preocupación que afecta a toda la sociedad. En este sentido, la administración autonómica ha puesto en marcha la Estrategia Andaluza ante el Cambio Climático (Consejería de Medio Ambiente, 2006) que, como complemento a la estrategia nacional, propone un gran número de medidas que involucran a diferentes organismos de la Administración. Este hecho ha derivado en el desarrollo de una red cada vez más densa y más compleja de observatorios meteorológicos que han generado un volumen de datos cada vez más importante. Tres han sido las características principales de este proceso en nuestros ámbitos:

- Un aumento de la densidad de las redes de observación que ha redundado en una mejor cobertura espacial en la medición y control de las variables climáticas. Este proceso ha sido muy evidente a partir de los años 80.

- La multiplicación de las redes de observación. Los múltiples procesos en los que las variables climáticas se encuentran involucradas y la propia estructura descentralizada del estado español, se han traducido, en la práctica, en la configuración de una red múltiple de observación

meteorológica y en la efectiva proliferación de observatorios pertenecientes a distintas administraciones y niveles competenciales. Instituto Nacional de Meteorología, Dirección General de Puertos y Costas, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Agricultura, Consejerías de Medio Ambiente, Consejerías de Agricultura y Pesca, estas dos últimas en el nivel autonómico, Servicios Meteorológicos autonómicos, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, etc... son algunos de los organismos e instituciones que efectivamente han puesto en marcha redes de observación meteorológica. Esta multiplicidad de redes de observación y la necesidad de normalizar la información producida ha sido objeto, a instancias del propio Ministerio de Medio Ambiente, de la redacción de una Norma AENOR que afectará a toda la producción de información meteorológica del Estado español.

- La coexistencia en los distintos ámbitos espaciales de observatorios manuales y estaciones meteorológicas automáticas. Los primeros, pertenecientes prácticamente en su totalidad al Instituto Nacional de Meteorología, han generado las series de observación más largas que podemos encontrar en el conjunto del territorio español, de indudable valor desde la perspectiva del estudio y detección de las variaciones climáticas.

Las segundas han proliferado al calor del proceso anteriormente mencionado de constitución de las numerosas redes de observación actuales y constituyen una fuente de datos inestimable en los procesos de predicción y de control y monitorización en tiempo real del estado del tiempo atmosférico.

El resultado de este proceso ha supuesto la conformación de un volumen de información meteorológica y climática de enormes proporciones en las últimas dos décadas. Este volumen de datos, de

excepcional interés para la mejora de análisis, estudios y herramientas de gestión, plantea, en una segunda etapa, la necesidad de integrar la información meteorológica en Sistemas de Información complejos que aseguren el almacenamiento estructurado de los datos, la coherencia de los mismos, así como el desarrollo de las aplicaciones que compondrán la explotación de la valiosa información almacenada por los mismos.

Si en una primera etapa todos los esfuerzos se focalizaron en los procesos de producción de la información, esta segunda etapa se centra en el diseño e implantación de sistemas de gestión y explotación de la misma mediante el desarrollo de Sistemas de Información específicos. Respondiendo a este reto, la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía ha puesto en marcha el desarrollo de CLIMA, el Subsistema de Información Climatológica de Andalucía.

La puesta en marcha de CLIMA forma parte del esfuerzo realizado por la Dirección General de Planificación de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía para dar respuesta a las necesidades creadas tras la adopción en Andalucía de una Estrategia Autonómica ante el Cambio Climático y la progresiva constitución una Red de Información Ambiental en Andalucía (R.I.A.). La R.I.A. pretende aunar los esfuerzos de diversos centros productores y usuarios de información medioambiental, desde organismos de la administración hasta universidades y centros de investigación.

El objetivo fundamental de CLIMA es pues la homogeneización de los datos de las estaciones meteorológicas pertenecientes a redes distintas, de forma que éstos sean una fuente segura y fiable para el estudio de las diversas variables meteorológicas y para la elaboración de estudios de índole climática sobre la comunidad andaluza, como pueden

ser la obtención de indicadores ambientales que evalúen el estado del medio ambiente y, sobre todo, los posibles impactos y consecuencias del fenómeno del cambio climático en la región.

REDES INTEGRADAS EN EL CLIMA

El Sistema integra información meteorológica y climática procedente de tres redes de observación diferentes que operan en el conjunto de la Comunidad Autónoma. La mayor parte de la información procede del Instituto Nacional de Meteorología, el cual dispone de cerca de 2000 estaciones manuales y 50 automáticas bien distribuidas a lo largo de la región y representativas de la variabilidad climática regional. A este volumen de observatorios le suceden los adscritos a la Consejería de Agricultura y Pesca (CAP) de la Junta de Andalucía, con 170 estaciones automáticas ubicadas en espacios con dedicación agraria y especialmente en aquellos ocupados por superficies de regadío. Por su parte, la propia Consejería de Medio Ambiente (CMA) de la Junta de Andalucía cuenta con 100 estaciones de observación orientadas a la previsión de los incendios forestales, el control de las superficies forestales y a la vigilancia de la calidad del aire. Estas redes conforman un conjunto de más de 2100 observatorios, de los cuales más de 300 son estaciones meteorológicas automáticas. En la Tabla 1 se resumen las principales características de las estaciones meteorológicas de CLIMA. En las Figuras 1 y 2 se recogen mapas de distribución de las diversas redes: mientras que en la Figura 1 se recogen todas las estaciones meteorológicas automáticas y semiautomáticas integradas en el CLIMA independientemente de los organismos que las gestionan, en la Figura 2 se recogen las estaciones manuales, todas ellas dependientes del Instituto Nacional de Meteorología.

ORGANISMO	RED	TIPO	NÚMERO DE ESTACIONES
I.N.M.	EMAS	Automáticas	42
	COMPLETAS	Semiautomáticas	28
	DIARIAS	Manuales	1914
C.M.A.	INFOCA	Automáticas	32
	SIVA	Automáticas	43
C.A.P.	RAIFS	Automáticas	81
	RIAC	Automáticas	89
TOTAL	Automáticas		315
	Manuales		1914

Tabla 1. Redes de observatorios integradas en el S.I.C.A.

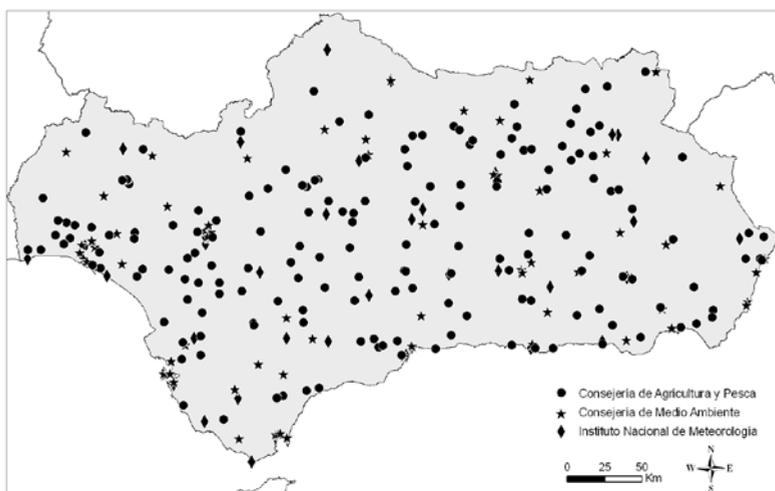


Figura 1. Estaciones Meteorológicas Automáticas integradas en CLIMA.

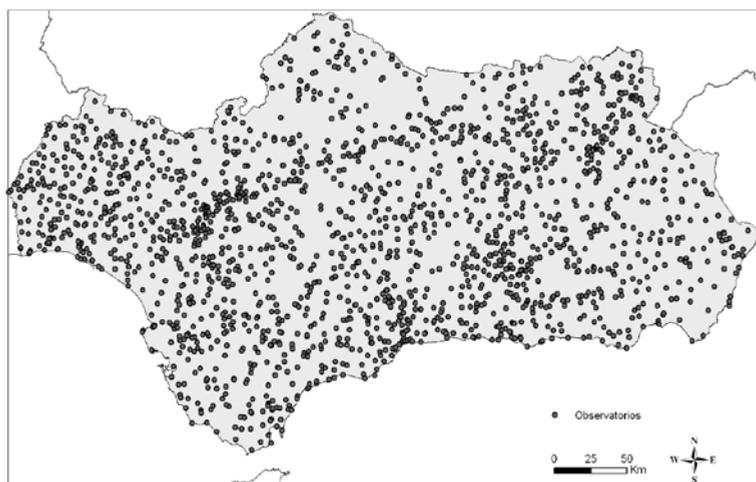


Figura 2. Estaciones meteorológicas manuales integradas en CLIMA.

El claro predominio de las estaciones manuales existentes en el INM y su casi exclusividad en lo concerniente a las series de observación históricas, nos ha impulsado a utilizar sus formatos como fuente de inspiración para el propio diseño de nuestro sistema, si bien éste integra también los rasgos propios de los formatos de las estaciones automáticas, dado que están destinadas a ser las protagonistas de la información meteorológica y climatológica en el futuro inmediato. Por otro lado, el Sistema es lo suficientemente abierto y flexible como para poder dar cabida en momentos posteriores a las nuevas necesidades de manejo de información meteorológica y climática que vayan sucediéndose en este ámbito.

LA ESTRUCTURA DEL BANCO DE DATOS Y LOS PROCESOS DE AGREGACIÓN

-La estructura del Banco de Datos y las variables seleccionadas

MAGNITUDES	Nº DE VARIABLES
Temperatura del aire	48
Temperatura del suelo y subsuelo	75
Precipitación	67
Humedad atmosférica	64
Nubosidad	22
Insolación	7
Evaporación	24
Evapotranspiración	12
Presión atmosférica	20
Viento	204
Radiación solar	108
TOTAL	651

Tabla 2. Las variables integrantes de CLIMA.

El diseño de la estructura del Banco de Datos Climáticos de CLIMA se basa en el propio diseño del formato utilizado por los datos contenidos en dicho Banco. El formato se inspiró, básicamente, en el utilizado

por el Instituto Nacional de Meteorología en su Red de Estaciones Completas, por ser este organismo el que dispone de una información climática más abundante, si bien recoge también elementos pertenecientes a formatos procedentes de otros organismos. Especial atención merecieron los formatos correspondientes a las Estaciones Meteorológicas Automáticas de las diferentes redes, destinadas a ser las protagonistas de la información climática en el futuro.

Dentro del Banco de Datos se contemplaron un total de 11 magnitudes con sus correspondientes variables climáticas divididas en 39 variables diferentes. Si a su vez tomamos en consideración las diferentes escalas temporales que puede adoptar cada una de las variables e incorporamos algunos parámetros de interés que se pueden derivar de ellas, obtenemos un total de 651 series de observación diferentes, a las cuales podemos considerar a su vez como variables, y que son las que, en realidad, componen el sistema que ahora presentamos (ver Tabla 2).

Queda claro a partir de estas cifras que es un sistema muy amplio y detallado, lo que refleja que en él se ha optado claramente por la elaboración de un sistema en el cual tiene cabida información redundante. Buena parte

de los sistemas informáticos, con el objetivo de ahorrar espacio, optan por la eliminación de la información redundante e incluyen los algoritmos necesarios para obtener información derivada de la información primaria incluida en el sistema cuando ello sea necesario. En nuestro caso, el ahorro de espacio en el sistema no ha sido un objetivo prioritario y sí lo ha sido, sin embargo, la rapidez y la facilidad de acceso a las consultas por parte de usuarios muy diversos, así como la facilidad y rapidez en el desarrollo de múltiples aplicaciones también muy diversas. Lógicamente, estas facilidades de consulta y aplicación se contrarrestan con mayores dificultades en el diseño de la estructura del sistema y en su gestión. En el caso de Andalucía se ha estimado que las necesidades físicas de almacenamiento para los datos

existente en las redes de observación tradicionales, y de enfatizar las variables a las que se reconoce unas mayores perspectivas de futuro, aún cuando en las redes tradicionales no fueran objeto de observaciones detallada (sería el caso, por ejemplo, de las variables relativas a la radiación solar o al viento).

- Las unidades de medida seleccionadas

Las unidades seleccionadas para cada variable han correspondido, en general, a las más utilizadas en las redes actuales de observación, pero se han implementado también los algoritmos necesarios para traducir a estas unidades otras posibles unidades existentes en otras redes. Este proceso de transformación de unidades ha sido requerido en numerosas ocasiones dado que son también muchos los formatos existentes en este sen-

VARIABLES	UNIDAD SELECCIONADA EN EL SICA
VARIABLES ASOCIADAS A LA TEMPERATURA DEL AIRE	°C
VARIABLES ASOCIADAS AL TOTAL DE PRECIPITACIÓN	mm
VARIABLES ASOCIADAS A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA	HPa
VARIABLES ASOCIADAS A LA TENSIÓN DE VAPOR	HPa
VARIABLES ASOCIADAS A LA NUBOSIDAD	Octas
VARIABLES ASOCIADAS A LA INSOLACIÓN	Minutos
VARIABLES ASOCIADAS A LA DIRECCIÓN DEL VIENTO	Grados
VARIABLES ASOCIADAS A LA VELOCIDAD DEL VIENTO	Km/h
VARIABLES ASOCIADAS A LA RADIACIÓN SOLAR	W/m ² o KJ/m ²
VARIABLES ASOCIADAS A LOS HIDROMETEOROS	Campo lógico

Tabla 3. Variables que llevan incorporados mecanismos de conversión de unidades de medida.

en línea que participan en los procesos de control, agregación y análisis, exigirán un servidor propio en el que se mantendrán los datos registrados por estaciones automáticas durante el periodo comprendido por los tres últimos años, pasando a un formato de disco una vez superado ese límite temporal. Los datos históricos a escala diaria estarán permanentemente en el sistema.

Una vez asumido este principio general, la selección definitiva de las variables a considerar en el sistema se ha hecho a partir del objetivo de no perder ninguna de la informa-

ción existente en las diferentes redes (ver Tabla 3).

-Las escalas temporales

Las escalas más usuales de observación en las redes tradicionales (diaria, mensual y anual) se han mantenido, y sólo se han visto incrementadas por la aparición del total de precipitación, que se ha desarrollado también a la escala del año hidrológico. Pero los mayores problemas han surgido en la escala intradiaria, en la cual aparecen frecuencias de observación muy dispares, como los 10 minutos, que es la más usual, pero también los 15 o los 30 minutos, sin contar con las

observaciones trihorarias o cuatrihorarias que pueden aparecer en estaciones convencionales como la red de estaciones completas del INM o la red Synops.

En CLIMA se ha optado por la escala diez-minutaria para el valor intradiario y su agregación posterior a la escala diaria; en consecuencia, todas las variables observadas con frecuencias diferentes han sufrido procesos de adaptación. En este sentido existen tres tipos de variables diferentes; en primer lugar, las variables cuantitativas

Conviene destacar los procesos requeridos para adaptar las propias variables diarias del INM, que en algunos casos, como en la precipitación, tienen diferentes sistemas de agregación diaria (de 0 a 24 horas o de 7 horas de un día a 7 horas del día siguiente), entre los cuales ha habido que optar (en nuestro caso se ha optado por efectuar la agregación con arreglo al día civil, es decir, desde las 0 a las 24 horas de un día), así como los procesos requeridos para adaptar las variables trihorarias o cuatrihorarias del propio Instituto.

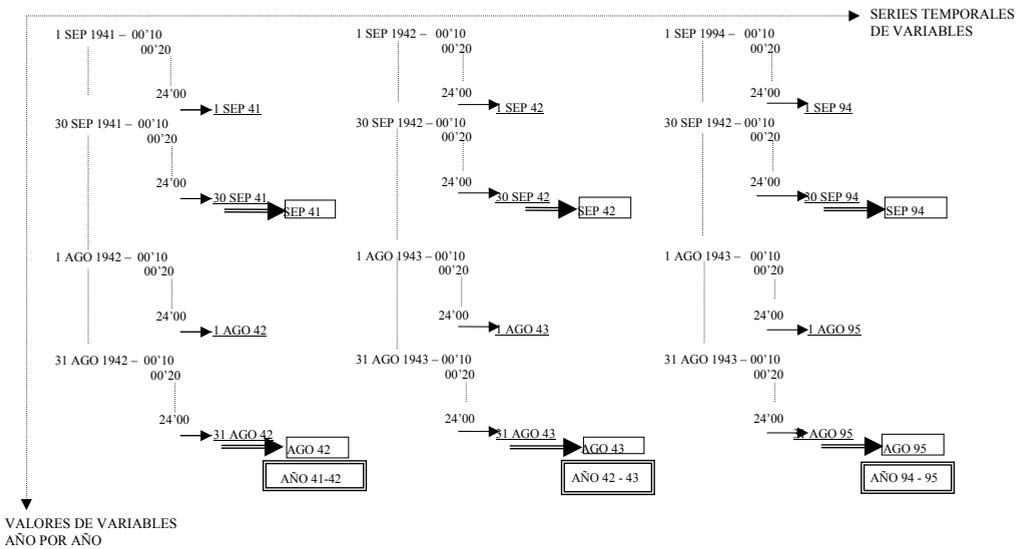


Figura 3. Esquema de la estructura del banco de datos.

en las que la agregación se realiza mediante medias aritméticas (temperatura, humedad etc.), en segundo lugar, las variables cualitativas o dicotómicas (tipo de nubes, que van codificadas, o algunos meteoros, en los que sólo se registra si se detectó o no se detectó) y en tercer lugar las variables cuantitativas, pero en las que la agregación se realiza mediante acumulación (total de precipitación, evapotranspiración, etc.). Cada una de ellas requiere métodos de agregación diferentes, que alcanzan los mayores niveles de dificultad en el caso de las últimas.

PRINCIPALES PROCESOS Y FLUJOS DE INFORMACIÓN EN CLIMA

Una vez adquiridos por las estaciones, los datos son transferidos a los concentradores de datos de las diferentes redes y, desde éstos, al concentrador de datos de CLIMA donde son convertidos a un formato común y homogéneo para todas las redes. Una vez que se superan un conjunto de criterios de validación, se corrigen los errores en la toma de datos y, si es posible, se rellenan las lagunas en las series, los datos pasan a formar parte

del Banco de Datos Climático definitivo. Los datos, ya integrados en CLIMA, pueden ser extraídos tabular, gráfica o cartográficamente. Por tanto podemos distinguir tres tipos de procesos:

- *Introducción de los datos en el sistema*, proceso que incluiría la adquisición, consulta y transmisión de los datos de las estaciones desde los concentradores de datos de las diferentes redes hasta el del propio CLIMA, trabajándose a partir de este momento con el gestor de base de datos ORACLE.
- *Análisis de los datos* recibidos, es decir, la conversión de los diferentes formatos en que se reciben los datos al formato único del CLIMA, la validación de los datos y la corrección de errores en los mismos.
- *Explotación* de los datos generados, procesos que comprenden desde la generación automática de estadísticas, gráficos y tablas hasta la espacialización de variables para periodos y áreas concretas, así como la exportación de los datos en diferentes formatos.

Estos procesos se materializan en los flujos de información descritos en la Figura 4.

de sus necesidades conduce a un elevado número de tipologías de estaciones meteorológicas que miden diferentes variables. Esta circunstancia es la que hace de CLIMA una herramienta de un gran valor dentro de la climatología actual. En la Tabla 4 se señalan las magnitudes y escalas temporales medidas en cada una de las redes de observación.

Al haberse diseñado por separado, cada una de estas redes almacena los datos con unos formatos propios y diferentes de los de las otras redes. Una serie de procedimientos permite la captura de los datos almacenados en los centros de control de cada una de las redes por parte de CLIMA, así como la conversión de los datos de esos formatos a uno común que es propio del Subsistema.

Los datos son capturados periódicamente en función de la escala temporal que tengan. Los diarios, procedentes de estaciones manuales, se cargan anualmente una vez han sido procesados por el I.N.M. En cambio, los interdiarios, si bien se pueden capturar en cualquier momento, se ha programado hacerlo a las 0:00 horas cada día de forma que los procesos desencadenados interfieran

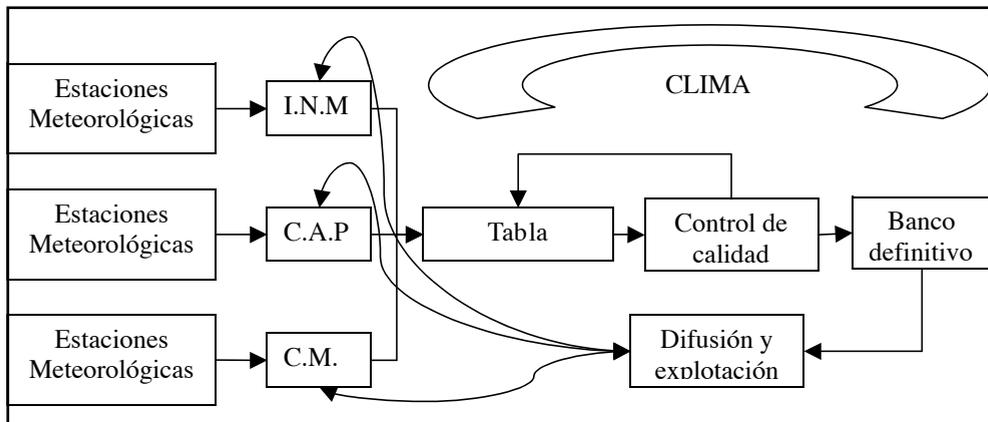


Figura 4. Flujos de información en CLIMA.

- Adquisición y carga de los datos.

Los tipos de estaciones meteorológicas integradas en CLIMA son bastante variados. La presencia de tres organismos distintos con diferentes redes cada uno de ellos en función

lo menos posible en las labores realizadas por cada organismo. En un primer momento, los datos quedan cargados en una base de datos temporal a la espera de que se pongan en marcha los mecanismos de validación, agregación e interpolación de lagunas;

RED	ESCALA TEMPORAL DE ADQUISICIÓN	MAGNITUDES (ver tabla 2)											
		P	T	V	H	N	I	R	E	A	S	O	
E.M.A.S. (I.N.M.)	INTERDIARIA	X	X	X	X								X
COMPLETAS (I.N.M.)	INTERDIARIA	X	X	X		X	X	X	X			X	X
DIARIAS (I.N.M.)	DIARIA	X	X										
INFOCA (C.M.A.)	INTERDIARIA	X	X	X	X			X					X
SIVA (C.M.A.)	INTERDIARIA	X	X	X	X			X					X
R.A.I.F.S. (C.A.P.)	INTERDIARIA												
R.I.A.C. (C.A.P.)	INTERDIARIA	X	X	X	X			X					

Tabla 4. Variables y escalas temporales en las diferentes redes integradas en CLIMA.

procesos que conducirán más tarde a la consolidación de los datos en el Banco de Datos Climático definitivo.

- El control de calidad de los datos meteorológicos: validaciones e interpolación de lagunas.

· Los métodos de validación de los datos
El proceso de validación de datos ha estado presidido por el objetivo general de no perder ninguna información potencialmente válida. Para ello los métodos a aplicar se han diseñado con criterios lo suficientemente amplios y laxos como para evitar la eventualidad de eliminar cualquier dato cierto, aún asumiendo el riesgo de que datos erróneos pudieran entrar en el sistema; por otro lado, los datos erróneos en ningún caso son eliminados del sistema, sino que quedan marcado como tales, si bien no participan en los tratamientos posteriores, siendo sustituidos para tal fin por lagunas o “no datos”. Además, y a pesar de la automatización del proceso, se ha introducido un segundo procedimiento de control a partir de la generación de un *informe de incidencias* en esta primera fase de validación. Este informe, que debe reflejar todos los errores y datos no válidos detectados automáticamente, únicamente es visible para el administrador cualificado del Sistema, de tal forma que éste pueda evaluar la validez última de los procesos llevados a cabo de forma automática. Asimismo, cada informe de incidencias debe ser almacenado directa

y automáticamente por el propio Sistema, garantizando su acceso posterior.

Otro condicionante fundamental en el diseño de estos métodos ha sido el hecho de que se trata de métodos destinados a ser aplicados en rutina y en tiempo real (a medida que los datos van entrando en el sistema) sobre una gran cantidad de variables muy diversas y que se desarrollan a su vez sobre un medio también muy diverso. Ello reduce las variables sobre las cuales se aplicarán a sólo aquellas que por sus características peculiares garantizan un éxito razonable; además, refuerza la necesidad de dotar de cierta laxitud a los métodos, y determina que éstos sean en todos los casos *tests* absolutos y no relativos, es decir, pruebas que en ningún caso utilicen la información procedente de observatorios vecinos, sino que se limiten a utilizar la información existente en el propio observatorio. Por otro lado, reduce también de algún modo la virtualidad del proceso en su conjunto, el cual lo único que pretende es eliminar los errores más groseros y los *outliers* más llamativos, pero de ningún modo tiene la pretensión de garantizar un banco de datos absolutamente exento de errores ni eximir a los estudiosos, investigadores o gestores del sistema de aplicar procesos de validación más minuciosos y concretos cuando ello se estime oportuno.

Los métodos de validación aplicados pueden agruparse en tres tipos diferentes:

1.- *Los rangos*: suponen la asignación a cada variable de un rango de posibilidad, que se ha inspirado en el conocimiento de la variabilidad natural de cada una de ellas en la región. Los máximos y mínimos históricos de cada una de las variables han sido el instrumento básico para asignarles unos filtros generosos, aunque realistas. Somos conscientes, no obstante, de que en algunas variables especialmente cambiantes a lo largo de la región (por ejemplo, la precipitación), la diversidad impone rangos muy abiertos, lo que reduce la virtualidad del control. En el futuro nada impide asignar a cada uno de los observatorios un rango específico basado en su propio comportamiento individual. Por el momento esta tarea era imposible y, por otro lado, hemos renunciado intencionadamente a establecer rangos inspirados en las desviaciones típicas de las series (es común utilizar como límite los valores que sobrepasen las tres o cuatro desviaciones típicas), dado que muchas de ellas no se ajustaban a curvas normales, lo cual reducía las garantías y la propia virtualidad del método.

Comentario especial merecen los rangos establecidos para las variables asociadas a la magnitud insolación, dado que en ellas el máximo posible de horas de sol varía a lo largo de los distintos días del año, y viene determinado por la latitud del observatorio; en las variables intradiarias, además, es preciso tener en cuenta el intervalo de tiempo sobre el cual se aplica la observación, el cual acaba convirtiéndose, en ocasiones, en el verdadero límite (en una serie diezminutaria el máximo valor que puede alcanzar la insolación es de 10 minutos).

También son destacables las variables que llevan implícita la dimensión temporal (como la intensidad de la lluvia, que se define como el total de precipitación recibido por unidad de tiempo), en las cuales hubo que establecer rangos flexibles, de manera que se pudieran adaptar a cualquier

intervalo temporal de medición (en la precipitación se fijó, por ejemplo, un límite genérico máximo de 400 mm/h, el cual habría de ser adaptado y variaría, lógicamente, en función del intervalo temporal considerado: precipitación diezminutaria, horaria, diaria, etc.).

2.- *Los filtros lógicos*: reciben su nombre del hecho de que se inspiran en los principios elementales de la lógica y, más concretamente, en el principio de no contradicción, e intentan evitar precisamente que cualquiera de los datos entrantes al sistema desafíe este principio. Aplicándolo y conociendo el funcionamiento de las variables y de los procesos de toma de datos, se pueden detectar fácilmente datos aberrantes, como por ejemplo la existencia de valores de precipitación negativa, o de días en que la temperatura máxima es inferior a la mínima o de días lluviosos con ausencia total de nubosidad etc. No se han aplicado filtros lógicos a todas las variables, porque no todas se adaptaban a este tipo de métodos, pero sí muchas de ellas (ver Tabla 3).

3.- *Los incrementos*: en algunas variables, por último, los filtros se han elaborado a partir del establecimiento de un límite en el incremento experimentado por dichas variables desde observaciones previas respecto a la observación considerada. Las variables que mejor se adaptan a este tipo de métodos son las variables continuas y dotadas de una cierta inercia, como la temperatura intradiaria; en ella se puede establecer un valor límite en el incremento experimentado desde un periodo de observación al siguiente, de manera tal que los incrementos que rebasen ese umbral pueden considerarse sintomáticos de error en la medición. En las variables en las que la inercia es aún mucho más acusada, como ocurre con la temperatura del subsuelo, estos límites en los incrementos pueden fijarse incluso respecto a los valores registrados el día anterior (ver Tabla 5).

MÉTODO DE VALIDACIÓN	VARIABLES
Filtros lógicos	<ul style="list-style-type: none"> - Temp. media diaria - Temp. mínima diaria - Temp. máxima diaria - Total de precip. en los 10 minutos de obs. - Existencia de precip. en forma de lluvia - Existencia de precip. en forma de nieve - Existencia de precip. en forma de granizo - Temp. del termómetro húmedo - Temp. del punto de rocío.
Incremento máximo desde la observación anterior	<ul style="list-style-type: none"> - Temp. del termómetro seco
Incremento máximo desde el día anterior	<ul style="list-style-type: none"> - Temp. a 0,05 m bajo el suelo - Temp. a 0,10 m bajo el suelo - Temp. a 0,15 m bajo el suelo - Temp. a 0,20 m bajo el suelo - Temp. a 0,15 m sobre el suelo
Rango variable en función del día del año	<ul style="list-style-type: none"> - Insolación intradiaria - Insolación diaria - Insolación mensual

Tabla 5. Variables con métodos de validación adicionales al método de asignación de rango.

Si tenemos en cuenta que, además de estos filtros, todas las variables se ven limitadas por rangos específicos, se puede pensar que, al menos, muchos de los posibles errores susceptibles de registrarse en los datos, serán detectados antes de su entrada en el sistema.

- Los métodos de interpolación de lagunas
A pesar de la dificultad y el riesgo implícitos en el diseño de métodos de interpolación de lagunas para su aplicación en rutina a datos muy heterogéneos, se ha considerado oportuno incluir algunos en el sistema dado que son muchas las ocasiones en las que se exige la continuidad de las series de observación para tratamientos posteriores o para la obtención de parámetros derivados. No obstante, sólo se han utilizado cuando la garantía de fiabilidad era alta y los beneficios de su aplicación muy claros. Por otro lado, siempre se advierte de la existencia de algún dato interpolado.

Los métodos de interpolación recomendados dependen de la escala temporal contemplada y de las pautas de comportamiento

espacio-temporal de la variable en cuestión. En general, para datos mensuales y anuales, en los cuales la variabilidad espacial está ya algo atenuada, y siempre que las variables se presten a ello, se recomienda la interpolación a partir de los valores adoptados por las variables mejor correlacionadas con la variable a interpolar. El procedimiento concreto de interpolación consiste en la sustitución del dato ausente por la media ponderada de los valores inferidos a partir de las tres series mejor correlacionadas con la que se pretende interpolar, siempre que haya un mínimo de 10 pares de valores y los coeficientes de correlación de Pearson alcancen valores superiores a 0,75.

Para la mayoría de los datos intradiarios se recurre más bien al ajuste de funciones polinómicas al ciclo diario de la variable en cuestión. En los datos diarios (y en algunos casos también intradiarios) se interpola mediante la media aritmética de los valores obtenidos por la misma variable en los días que preceden y que suceden al dato ausente (ver Tabla 6).

MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN	VARIABLES
Media aritmética de los dos valores intradiarios anteriores y los dos posteriores al valor a interpolar	<ul style="list-style-type: none"> - Temp. a 0,05 m bajo el suelo - Temp. a 0,10 m bajo el suelo - Temp. a 0,15 m bajo el suelo - Temp. a 0,20 m bajo el suelo - Temp. a 0,15 m sobre el suelo - Temp. termómetro seco (2º método)
Media aritmética de los dos valores diarios anteriores y los dos posteriores al valor a interpolar	<ul style="list-style-type: none"> - Temp. media diaria a 0,05 m bajo el suelo - Temp. media diaria a 0,10 m bajo el suelo - Temp. media diaria a 0,15 m bajo el suelo - Temp. media diaria a 0,20 m bajo el suelo - Temp. media diaria a 0,15 m sobre el suelo - Temp. media diaria - Temp. mínima diaria - Temp. máxima diaria - Evaporación diaria en Piché - Evaporación diaria en tanque - Evapotranspiración diaria en lisímetro
Función polinómica de orden 4 para datos intradiarios que siguen ciclos diurnos	<ul style="list-style-type: none"> - Temp. del termómetro seco - Evaporación con Piché - Evaporación en tanque - Evapotranspiración en lisímetro
Media ponderada de los valores inferidos a partir de las tres series mejor correlacionadas	<ul style="list-style-type: none"> - Temp. media mensual y anual - Temp. media de las mín. mensual y anual - Temp. media de las máx. mensual y anual - Amp. térm. diaria media mensual y anual - Precip. total mensual y anual - Nº días de precipitación al mes y al año - Evaporación mensual y anual Piché - Evaporación mensual y anual tanque - Evapotranspiración mensual y anual lisímetro

Tabla 6. Métodos de interpolación de lagunas asignados a las variables de CLIMA.

De cualquier forma, son muy pocas las variables que se someten a la interpolación de lagunas, porque somos conscientes de los grandes márgenes de error en que se mueven la mayoría de estas interpolaciones, lo que hace que sólo sean recomendables en los casos en los que el análisis riesgo/beneficio sea muy favorable a éste último.

-La explotación del banco de datos.

Como se dijo anteriormente uno de los objetivos fundamentales del Subsistema es el de que sirva para mejorar la calidad de los estudios en materia de climatología y meteorología y, sobre todo, los que evalúen el fenómeno del cambio climático. Por tanto, este

Subsistema se ha puesto a disposición de la comunidad científica y técnica que quiera abundar en esta materia. La obtención de información a partir de CLIMA puede realizarse de diferentes formas:

- Extracción en forma de tabla o gráficas de datos y estadísticas básicas correspondientes a estaciones y variables concretas para fechas determinadas (Figura 5). Estos datos pueden obtenerse en tiempo real de cara a la gestión de problemas ambientales, como los incendios forestales o la contaminación atmosférica.
- Espacialización de variables climáticas usando métodos de espacialización

predefinidos o personalizando los mismos, utilizando para ello un Sistema de Información Geográfica (ARC-INFO). Asimismo, los datos pueden ser empleados para alimentar modelos de simulación del

comportamiento atmosférico que permitan conocer y predecir el clima de la región (Figura 6).

- Exportación masiva de datos de estaciones y variables concretas para su análisis.

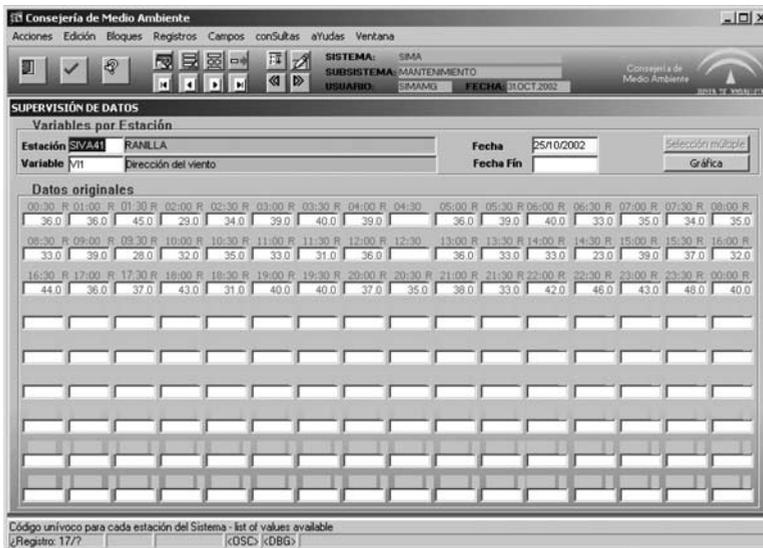


Figura 5. Extracción en forma tabular de datos en CLIMA.

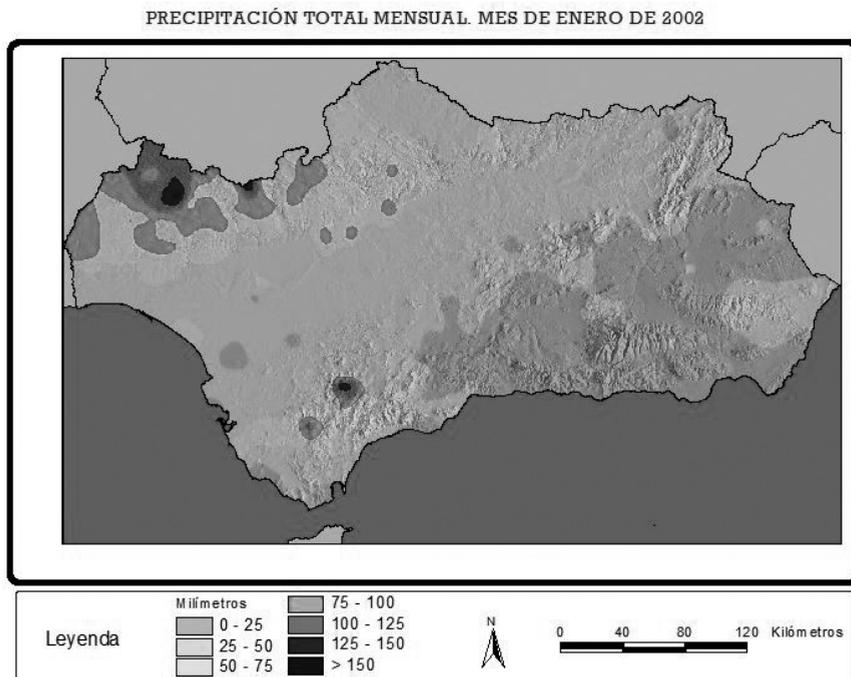


Figura 6. Precipitación total mensual. Enero de 2002.

Desarrollo de índices e indicadores ambientales de gestión basados en la información meteorológica y climática disponible: indicador ISSP de sequía, índices de calentamiento climático, cálculo de la erosividad de la lluvia (Figura 7).

- Extracción de las estadísticas básicas del comportamiento de nuestro clima especializadas para el conjunto de la Comunidad Autónoma.

CLIMA es accesible además a través de Internet en dos versiones distintas, una para usuarios básicos y acceso a la información meteorológica producida por la propia Consejería de Medio Ambiente y otra, más completa, para usuarios avanzados y acceso al total de datos producidos por el

conjunto de redes presentes en el Sistema. De esta forma, los usuarios pueden acceder a toda la información presente en el mismo, si bien existen restricciones de acceso en función de los distintos tipos de usuarios definidos.

CLIMA es sobre todo una herramienta eficaz para la integración de los datos de las estaciones meteorológicas existentes en Andalucía. Los procesos de carga y agregación así como los métodos para la validación de datos e interpolación de lagunas permiten dar homogeneidad a la información meteorológica adquirida de manera que esta puede ser empleada de forma conjunta en cualquier tipo de estudio.

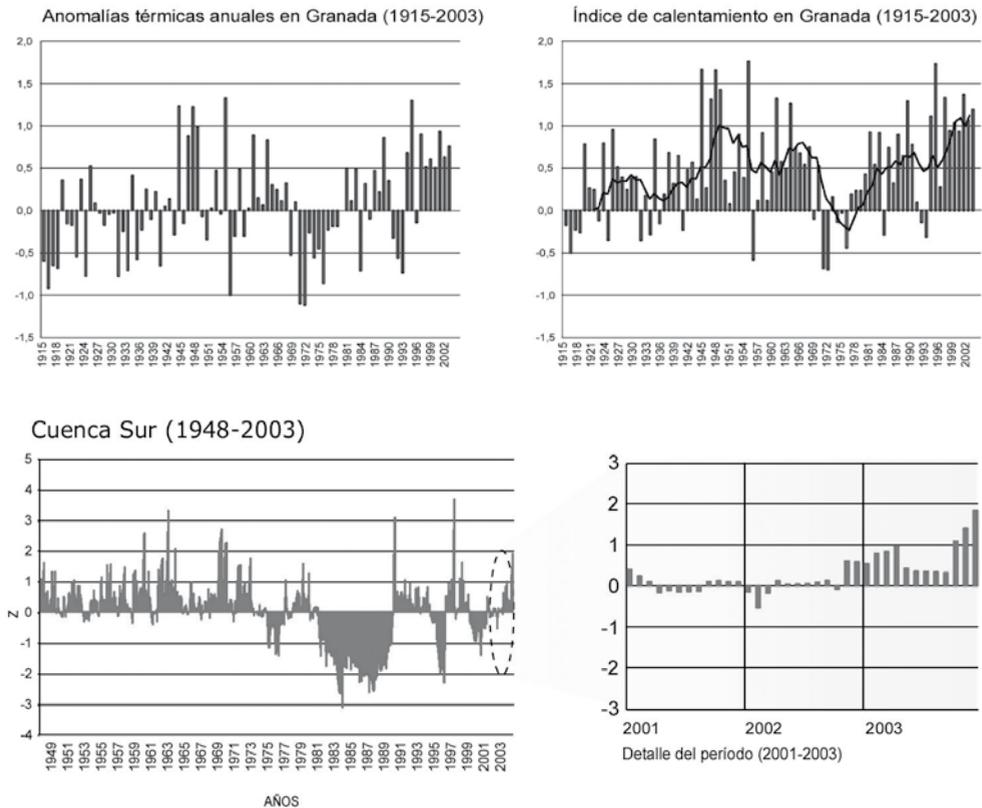


Figura 7. Índice de calentamiento global en la serie de Granada (arriba) e índice de sequía ISSP en la cuenca Sur de Andalucía (abajo).

BIBLIOGRAFÍA

- Almarza, C. & E. Gutiérrez-Marco (2001). El sistema de información geográfica con fines climatológicos del Instituto Nacional de Meteorología. En: *Actas del XIV Congreso de la Asociación Internacional de Climatología*. Pita, M. F. et al (ed).
- Comisión Europea (2001) COST 719. *The use of geographical information systems in Climatology and Meteorology*. Memorandum, Bruselas.
- Consejería de Medio Ambiente (2006). *Estrategia Andaluza ante el cambio climático. El camino recorrido mirando hacia el futuro*. Ed. Secretaría General de Sostenibilidad de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. 40 p.
- Pita López, M. F. (1999). *Diseño de una metodología de espacialización de variables climáticas, estructuración de bases de datos de clima y obtención de indicadores ambientales*. Informe elaborado por el Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional de la Universidad de Sevilla a petición de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
- Junta de Andalucía (2000). *Informe de Medio Ambiente de Andalucía*. Sevilla.