

MASTER INVESTIGACIÓN
EN INGENIERÍA PARA EL
DESARROLLO
AGROFORESTAL

JULIO 2012

TRABAJO FIN DE MASTER

CÆLIS: Software de asimilación, gestión y procesado de datos
atmosféricos.



Universidad de Valladolid

David Fuertes Cocho

Tutores:

Salvador Hernández Navarro

Victoria E. Cachorro Revilla

1. RESUMEN

En el campo de los estudios atmosféricos, y más concretamente en el estudio de los aerosoles mediante métodos radiométricos, surge CÆLIS. Éste es un software desarrollado por el GOA-UVa que proporciona una solución informática y automatizada a los problemas derivados de la gestión y estudio de las redes de captación de este tipo de medidas. Los retos del procesado de este tipo de información son varios:

- La manipulación de la enorme cantidad de datos producidos por el gran número de instrumentos y su elevada frecuencia de muestreo.
- La necesidad de tomar datos de distintas y heterogéneas fuentes de información para la obtención de productos derivados.
- La producción de estos nuevos productos de estudio en tiempo real.

CÆLIS implementa una arquitectura que da solución a estos problemas y además provee interfaces para la publicación y manipulación de la información: Por un lado un sistema Web para la publicación de resultados en Internet fácilmente accesible por la comunidad científica, por otro lado un sistema de base de datos relacional que permite la explotación intensiva de las variables para la realización de estudios y publicaciones científicas.

2. ANTECEDENTES

Se entiende como aerosol atmosférico a todas aquellas partículas en estado sólido o líquido que se encuentran suspendidas en la atmósfera, y que se mantienen el tiempo suficiente como para permitir su observación y medida.



Este trabajo se centra en la medida de las propiedades de los aerosoles mediante
Figura 1: pluma del volcán Etna

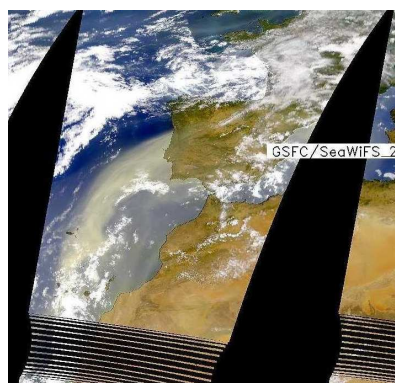


Figura 2: intrusión arenas del Sáhara

métodos radiométricos. La variable básica en este campo es el espesor óptico total definido mediante la Ecuación 1, conocida como ley de Beer-Bouguer-Lambert (Shaw, 1983). A partir del espesor óptico total se puede deducir el espesor óptico de aerosoles restando al total la contribución del Rayleigh y la absorción de gases (Ecuación 2). La dependencia espectral del espesor óptico de aerosoles nos permite definir el coeficiente



alfa de Ångstrom (Ångstrom, 1929), que se relaciona clásicamente con la cantidad y tamaño del aerosol atmosférico (Ecuación 3).

$$E(\lambda) = E_0(\lambda) \cdot e^{-\tau \cdot m}$$

Ecuación 1

$$\tau_a = \tau - \tau_R - \tau_g$$

Ecuación 1

$$\tau_a(\lambda) = \beta \cdot \lambda^{-\alpha}$$

Ecuación 3

Otra de las medias que se manipulan en este trabajo es el vapor de agua precipitable (PWV). Ésta se define como la altura que alcanzaría el vapor de agua existente en toda la columna vertical atmosférica si este se condensara en el suelo (medido en cm). Se puede obtener eligiendo una longitud de onda de alta absorción del vapor de agua y conociendo el espesor óptico de aerosoles aplicar la Ecuación 2.

La red AERONET (AErosol RObotic NETwork, <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>; (Holben et al., 1998)) fue establecida por el GSFC-NASA y el Laboratoire d'Optique Atmosphérique (LOA) de la Universidad de Lille (Francia) como una federación de redes de ámbito regional o nacional basada en instrumentos localizados en tierra (estaciones) para la monitorización de los aerosoles atmosféricos. Actualmente engloba unos 450 instrumentos gestionados por 4 subredes principalmente: AERONET, PHOTONS, AEROCAN de Canadá y RIMA (<http://www.rima.uva.es>). Según los enunciados propios de AERONET, el programa debe proveer series continuas en el tiempo de medidas de aerosoles y sus propiedades microfísicas y radiativas dedicadas a la caracterización de los aerosoles y a la validación de datos obtenidos mediante satélite.

Los datos de la red AERONET proporcionan observaciones globales y prácticamente en tiempo real de los parámetros que definen las características de los aerosoles (más de 40 parámetros) a nivel de columna, siendo el espesor óptico de aerosoles (AOD) el índice básico de estos datos. La importancia de la red radica en la variedad de estaciones con condiciones y tipos de aerosoles muy diversos: marítimos, desérticos, árticos, contaminación urbana e industrial, etc.

El fotómetro solar CE-318 es el aparato standard de la red (existen varios modelos con ciertas diferencias) desarrollado por la empresa francesa Cimel Electronique. Se trata de un instrumento totalmente autónomo que mediante el uso de un panel solar y una antena satelital no necesita de una infraestructura previa. El propósito principal de este instrumento es medir la radiación directa del sol y la difusa del cielo para derivar de éstas las propiedades de los aerosoles y el vapor de agua en columna usando una combinación de filtros espectrales y un robot acimutal/cenital controlado por un microprocesador.



Figura 3: Fotómetro solar Cimel CE 318 y descripción de sus principales componentes

El fotómetro realiza dos medidas básicas, la de radiación directa (irradiancia solar) y la difusa (radiancia del cielo), ambas dentro de una serie de medidas programadas según los estándares de AERONET. Esta secuencia de medidas es calculada por el instrumento a partir de la hora solar verdadera (TST; true solar time) y realiza medidas desde la salida hasta la puesta del sol cada 15 minutos en el caso de medidas directas y unas 10 secuencias de medidas de todo el cielo.

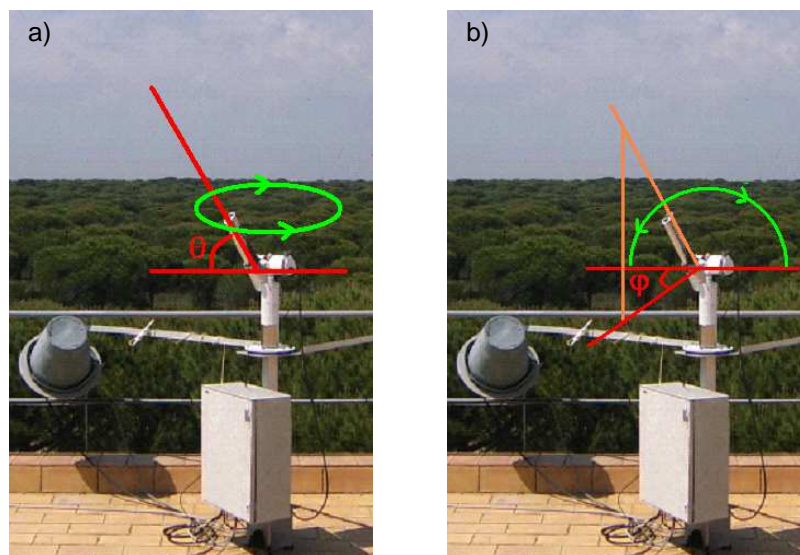


Figura 4: Medidas de radiancia del cielo: geometría del almucántar (a) y plano principal (b).

Los instrumentos de campo reciben una calibración de directa y otra de cielo antes y después de un periodo de medidas (en torno a un año). Estas calibraciones siguen el estricto protocolo fijado por NASA para garantizar que aunque dos equipos estén calibrados en dos centros distintos sus medidas son directamente intercomparables. Entre estas calibraciones se realiza su mantenimiento y puesta a punto.



Figura 5: Autilla del Pino, plataforma de calibración por intercomparación del GOA-UVa

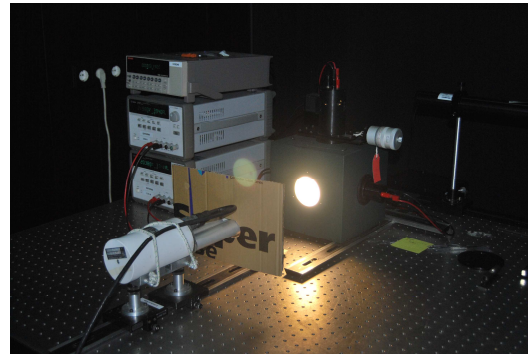


Figura 6: Laboratorio de calibración en radiancia en las instalaciones de la Universidad de Valladolid

3. OBJETIVOS

El objetivo general del que trata este trabajo es crear de un sistema informático capaz de automatizar todas las tareas relacionadas con la red de medidas fotométricas de aerosoles RIMA. Desde las operaciones que realiza el GOA-UVa sobre la red (gestión, calibración y mantenimiento) hasta las tareas más científicas (generación de productos derivados y potenciar la capacidad investigadora del grupo). Estos objetivos se pueden especificar y clasificar de la siguiente forma:

- Asimilar las medidas brutas (dato directo del instrumento) generadas por la red de medidas RIMA.
- Asimilar los datos de AERONET, tanto la metainformación asociada al instrumento (coeficientes de calibración, respuesta espectral de los filtros...) como los productos procesados por la NASA (AOD, ALFA, propiedades microfísicas,...)
- Asimilar medidas auxiliares: Estas variables generadas en otros proyectos son de interés para su uso directo en publicaciones científicas o pueden ser utilizadas para el cálculo de los productos derivados.

Cabe destacar que el procesado de algunas variables es en tiempo real y otros son productos estáticos dependiendo del uso que se le vaya a dar al dato. El reto de las variables en tiempo real es ser capaz de procesarlas al instante. En el caso de las variables estáticas se aplicarán a la información técnicas de *Data Warehouse* que mediante la redundancia de datos genera modelos más fáciles de estudiar.

4. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo las tareas planteadas en los objetivos se va a desarrollar un sistema informático. Para ello es importante estudiar las herramientas software existentes en el mercado y hacer una selección cuidadosa de las que mejor se pueden

aplicar al problema a tratar en concreto. Es necesario ser consciente de la cantidad de información a tratar y de la problemática asociada a hacerlo en tiempo real. El colapso de un sistema de este tipo se produce cuando el tiempo necesario para la manipulación y procesado de un dato entrante es superior al muestreo por el número de instrumentos. Cuando esto ocurre se deben tomar medidas (tanto hardware como software) para optimizar el sistema reduciendo así el tiempo de procesado.

$$T_{\text{procesado}} \ll T_{\text{muestreo}} \cdot N_{\text{instrumentos}}$$

Ecuación 2

Los componentes principales que conformarán este software son dos, un núcleo encargado del procesado de la información y una base de información a la cual se conectan los distintos procesos para extraer las entradas que necesitan y en la que guardan sus salidas. Un ejemplo concreto de esto último es el proceso que genera la radiancia de un conjunto de medidas del cielo. Este proceso se conectará a la base de datos para extraer las medidas del cielo y los coeficientes de calibración y almacenará en la base de datos las medidas de radiancia procesadas. Además a esta base de datos se le deben conectar interfaces de usuario para la explotación de la información. Estas son dos: Una interfaz WEB que proporciona al usuario un acceso rápido a las tareas más comunes y una interfaz SQL (*structured query language*) para la explotación intensiva de los datos almacenados. La interfaz SQL provee al investigador toda la flexibilidad y potencia que necesita para la realización de sus investigaciones científicas. Cabe destacar que a esta interfaz se le pueden conectar directamente programas que automaticen la extracción y manipulación de la información. Con este método se pueden desarrollar módulos con la misma potencia que los que implementa el propio sistema CÆLIS.

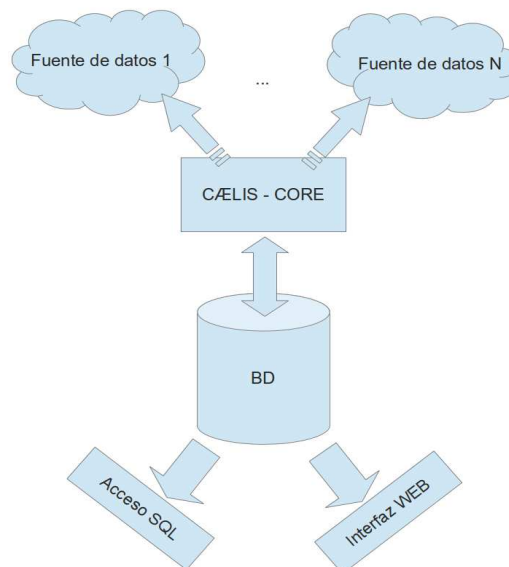


Figura 7: Modelo de la arquitectura del sistema

El diagrama anterior muestra una visión general de la arquitectura planteada por CÆLIS que a continuación se desglosa y explica separadamente.

1.1 Núcleo de CÆLIS

El núcleo de CÆLIS es el encargado de la recepción de la información, procesado y manipulación de la misma y finalmente guarda los resultados en la base de datos. Para llevar a cabo las tareas que debe realizar el sistema el primer paso es organizarlas, dividiéndolas en “acciones”. Una acción es el elemento más simple del proceso. Por ejemplo, cuando se dice que la tarea del sistema es procesar los datos de la red RIMA, CÆLIS lo traducirá a una lista de acciones que debe realizar de forma secuencial: obtener datos, filtrar datos, enviar datos a AERONET, generar radiancias, generar AOD y generar alarmas. Estas acciones son guardadas en una “pila de acciones” ya que el sistema puede tener varias cosas que hacer en un mismo momento del tiempo. Para que el sistema funcione como se espera, cada acción debe ir acompañada de una metainformación que ayude al administrador de acciones a planificar el trabajo. Por tanto, para definir una acción es necesario establecer la siguiente información:

- El identificador de la acción a aplicar. En la práctica esto se hace mediante dos parámetros llamados acción y subacción. Por ejemplo dentro de la acción “datos de la red rima” estará la subacción “buscar nuevos datos” o “procesar un conjunto de datos”
- Una serie de parámetros necesarios para la ejecución de la acción. Por ejemplo, si se desea procesar un conjunto de medidas de la red RIMA, habrá que indicar que instrumento las realizó y entre que fechas.
- Variables para el planificador, en concreto, fecha de validez y prioridad. La fecha de validez permite al planificador establecer acciones que serán ejecutadas en el futuro y la prioridad ayuda a organizar que acciones son más importantes de ejecutar. La siguiente acción ejecutar será aquella cuya fecha de validez sea menor al actual, es decir, sea actualmente válida y en caso de haber varias se ordenarán por prioridad.

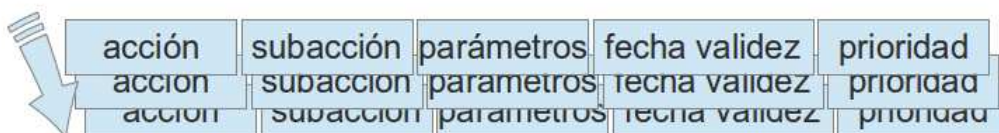


Figura 8: Pila de acciones de CÆLIS

Sobre esta pila actuará CÆLIS-ADMIN que es el encargado de articular las llamadas a los distintos procesos consumiendo la pila de acciones. CÆLIS-ADMIN por lo tanto implementa el algoritmo de selección de acciones basándose en la antigüedad de la acción y su prioridad. Este *daemon* del sistema es por tanto el director de orquesta que organiza el comportamiento interno haciendo a la arquitectura capaz de realizar los procesos en tiempo real priorizando aquellos importantes y dejando en segundo plano aquellos que se pueden realizar más tarde.

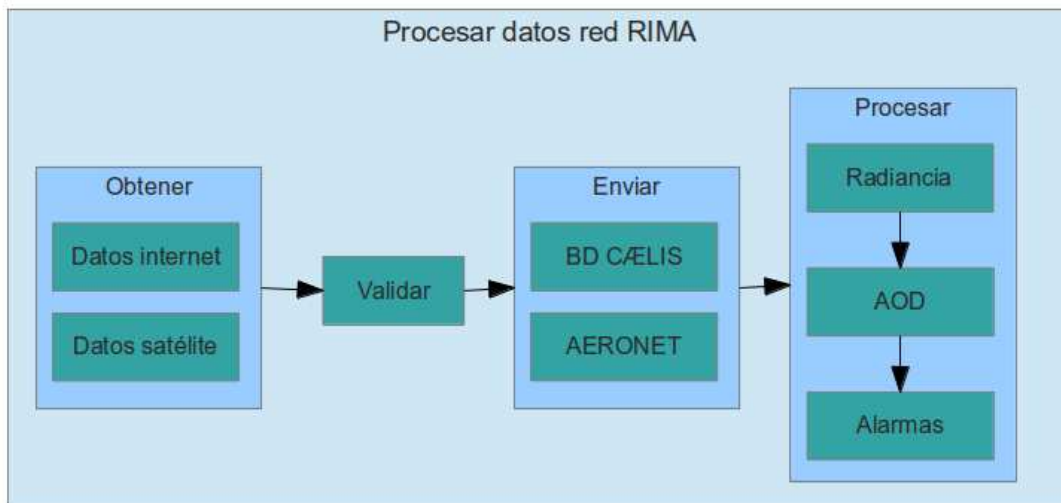


Figura 9: Esquema de acciones pertenecientes a la tarea de validar los datos de la red Rima.

La figura anterior muestra como subdividir una tarea (procesado de datos de la red RIMA) en acciones más simples que el planificador pueda organizar. Es muy importante que el estado antes de comenzar una acción y después de terminarla sea un estado “estable” entendiendo como estable que si en ese momento el sistema parara de procesar acciones todo funcionaría correctamente. Esto permite que las tareas se puedan mezclar entre sí sin preocuparse del orden en que se hace permitiendo que por ejemplo, durante la cadena de procesado anterior referida a los datos de la red RIMA se pueden hacer acciones distintas como tomar datos meteorológicos sin afectar al resultado del procesado.

La base de datos da soporte a estas acciones almacenando la información. La clave para conseguir obtener datos de fuentes heterogéneas y que se puedan combinar entre ellas reside en que estas acciones adaptan la información obtenida a CÆLIS y este la deja guardada siguiendo su filosofía. Por ejemplo, una fuente de datos americana puede ofrecernos la información en un uso horario distinto al que llega de la red RIMA. La acción encargada de la descarga, adaptación y persistencia de dicha información será la que homogenice dichos datos para preservar una forma común dentro de CÆLIS.

Extender las funcionalidades a la asimilación de nuevas fuentes es tan sencillo como crear nuevas acciones que lo implementen. Una gran ventaja de CÆLIS frente a otros sistemas es que no impone un lenguaje de programación en la implementación de estas acciones que son llamadas por CÆLIS-ADMIN de manera que se puede adaptar con facilidad incluso programas no pensados inicialmente para ejecutarse dentro de CÆLIS. El núcleo de CÆLIS está implementado en C, Bash script, Python y SQL.

1.2 Base de datos de CÆLIS

Este es el segundo componente imprescindible del sistema y que permite la operación entre datos de heterogéneas fuentes de manera flexible y potente. Para llevar a cabo la implementación de la BD ha sido utilizado el Sistema Gestor de Bases de Datos MySQL. El uso de este tipo de software no está pensado para la manipulación de tan enorme cantidad de datos por lo que ha sido adaptado mediante un estudiado modelo de datos. En cada parte del sistema se ha priorizado según la importancia del

sistema, así por ejemplo aquello que modela tiempo real debe ser capaz de hacer muy rápidas las inserciones de la información y aquello que modela las vistas para los usuarios priorizan la extracción.

El modelado de este sistema se puede encontrar en el Proyecto Final de Carrera CÆLIS: Sistema de gestión y explotación para una red de investigación en aerosoles (Fuertes, 2010) por tanto queda fuera del presente trabajo. A modo introductorio actualmente el núcleo de CÆLIS cuenta con 86 tablas sin contar el proyecto AEROPA (que contiene los datos de AERONET de todas las variables que provee sobre toda Europa). Este último proyecto utiliza técnicas de *Data Warehouse* para reducir el número de dimensiones de complejidad del problema y precalcula todos los estadísticos interesantes. Esto hace que este proyecto conste de 96 tablas más y una gran redundancia de información pero facilita enormemente el uso de los investigadores con menos conocimientos informáticos. Por dar unos datos del orden de magnitud de las bases de datos las 86 tablas (con relaciones complejas) del núcleo de CÆLIS tienen entorno a los 350 millones de registros.

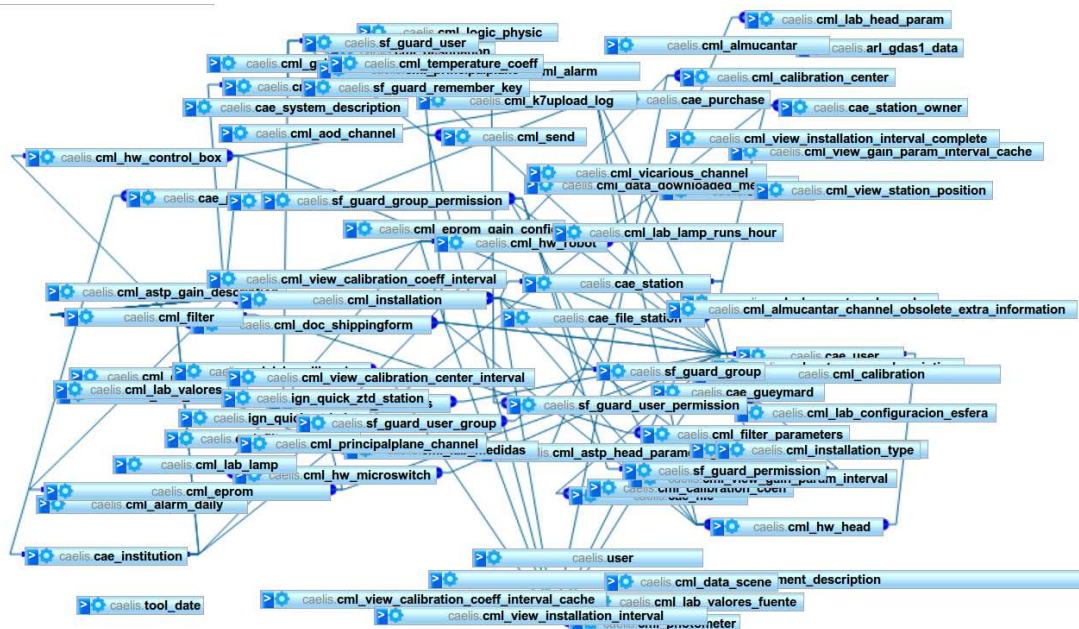


Figura 10: Salida del diseñador de la aplicación interfaz de MySQL PHPMyAdmin

La figura anterior es la salida generada por el módulo de diseño de la aplicación PHPMyAdmin sobre la base de datos CÆLIS. Da cuenta de la complejidad del modelo aunque también parece caótica su organización. Como se ha mencionado ya al principio de este apartado existe una extensa documentación sobre cómo utilizar este modelo de datos.

1.3 Interfaces de acceso a CÆLIS

El acceso al sistema se realiza directamente a través de interfaces que se conectan a la base de datos. La propia base de datos ofrece una interfaz de acceso mediante consultas SQL. Esta es la forma más flexible y potente de extraer datos pero también la más complicada pues implica conocimientos tanto del lenguaje de consultas SQL como



del modelo de CÆLIS. La ventaja es que se puede extraer la información deseada en el formato deseado e incluso desde lenguajes de programación que directamente implementen algoritmos para su transformación o interpretación (por ejemplo que realicen gráficas de manera automática). Además del acceso básico al servidor MySQL, la máquina que contiene CÆLIS tiene instalado el software PHPMyAdmin que facilita el acceso directo al modelo de datos haciendo esta labor un poco más amigable (añade una interfaz gráfica en modo web).

Por otro lado está la página web de CÆLIS que implementa una interfaz personalizada a las tareas más rutinarias sobre el sistema. La creación de esta interfaz está implementada utilizando las últimas tecnologías disponibles: HTML5, Symfony2 como *framework* de PHP5, jQuery como *framework* de JavaScript, Bootstrap como *framework* de CSS3, jpGraph como biblioteca de generación de gráficas del lado del servidor e interacciones complejas mediante el uso de AJAX. El desarrollo de esta interfaz ha sido cercanamente guiado por el GOA-UVA que ha explicitado claramente las acciones más comunes y su prioridad. En la discusión del presente trabajo serán mostrados ejemplos de utilización de esta interfaz.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos son una arquitectura informática que da solución a los objetivos propuestos y marcan la línea de trabajo para ampliaciones futuras. Comenzando a comentar por el trabajo realizado, la mejor forma de mostrar como la solución implementada cubre las necesidades con unos ejemplos de uso. En este sentido serán propuestos unos ejemplos organizados en función del objetivo y nivel de pericia de los usuarios.

1.4 CÆLIS para usuarios de la red RIMA

No todos los usuarios del sistema tienen privilegios para hacer las mismas acciones. Pese a que CÆLIS esté concebido como una herramienta de difusión de la información, existen varios niveles de usuarios con diferentes permisos. Para acceder al contenido de la WEB se debe estar previamente registrado y el administrador te ha debido dar permisos para acceder a los proyectos que desee. Por otro lado el acceso directo a SQL está disponible por el momento para los usuarios del GOA-UVA.

5.1.1 Ejemplo 1: Los “site managers” en CÆLIS

La tarea más común de los “Site Managers” de la red, es decir, de la persona encargada de un instrumento en una estación, es la verificación del estado de la instrumentación. Su labor principal es asegurar el buen funcionamiento de la instrumentación para garantizar la calidad de las medidas. La web de CÆLIS ofrece a estos usuarios el sistema de alarmas generadas a partir de los datos recibidos por el sistema. Estas alarmas estudian las medidas realizadas por el instrumento y su metainformación y advierte de los datos que están fuera de unos umbrales considerados “de normalidad”.

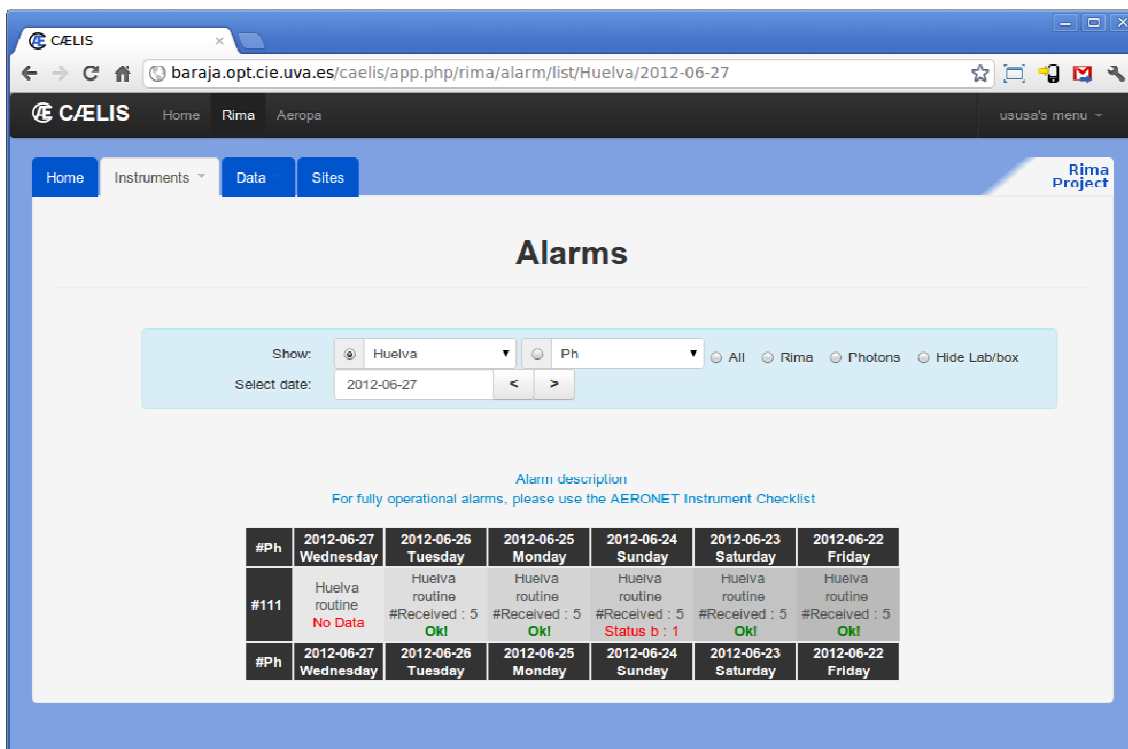


Figura 11: Vista de las alarmas de la estación de Huelva en la Web del sistema CÆLIS

Como se puede ver en la Figura 11, el supervisor de una estación puede ver de un golpe de vista el estado de su instrumento a lo largo de una serie de días. Un documento descriptivo de los errores explica que es cada problema que se puede encontrar. En el ejemplo anterior el día 24 de Junio del 2012 la estación de Huelva tuvo un error en el robot del instrumento (status b). Desde esta misma página se enlaza al usuario con información de interés como los datos recibidos por el instrumento o gráficas de distintos parámetros medidos. De esta manera se facilita la detección y estudio de los problemas instrumentales cuyo seguimiento redundará en la calidad de los datos obtenidos por la red.

5.1.2 Ejemplo 2: Uso avanzado del sistema para la detección de problemas complejos en la instrumentación.

Además de las tareas que se pueden realizar a través de la interfaz WEB de CÆLIS como se ha mencionado previamente también se puede hacer uso directo de la base de datos que conforma el núcleo del sistema. En este apartado se trata de mostrar un uso de este otro sistema de acceso a la base de datos mediante un ejemplo cuyo uso no sea frecuente pero cuyo resultado sea interesante para los usuarios de la red RIMA. Por tanto se presenta como ejemplo de uso de esta interfaz la siguiente cuestión: ¿Cuál es el valor normal de la batería interna del instrumento Cimel? Esta cuestión es importante por ejemplo a la hora de decir los valores umbrales que utiliza el sistema de alarmas para detectar comportamientos anómalos.

Para afrontar la tarea propuesta se propone obtener un histograma de frecuencia de valores medidos de la batería. Obtener esto es muy fácil y rápido gracias a la

potencia de SQL que es capaz de preguntar al modelo el número de ocurrencias de cada valor medido de la siguiente manera:

```
SELECT `value` , COUNT( * ) FROM `cml_data_scene_parameter` WHERE
`key` 'EL_BAT' GROUP BY `value` ORDER BY `value`
```

En menos de 5 segundos el sistema analiza más de 23 millones de medidas de la batería recogidas de todos los instrumentos de la red y devuelve el resultado ordenado del valor de la batería frente al número de ocurrencias de dicha medida.

Batería medida (Voltios)	Número de apariciones
5,04	6.286
5,08	6.394
5,12	6.807
5,16	7.362
5,2	51.905
5,24	15.146
5,28	28.736
5,32	46.115
5,36	65.812
5,4	95.573
5,44	126.974
5,48	161.373
5,52	196.320
5,56	246.921
5,6	414.458
5,64	540.317
5,68	273.012
5,72	43.941

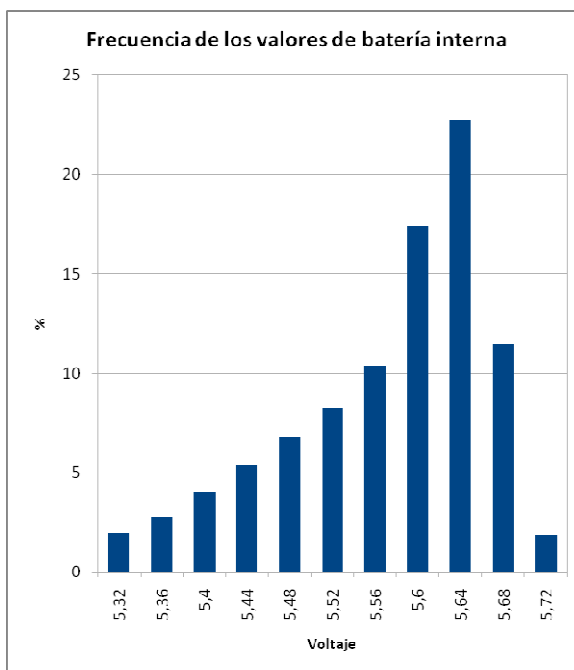


Figura 12: Valores de batería frente al número de apariciones e histograma de frecuencia de valores de batería interna obtenidos de los instrumentos Cimel de la red RIMA

Con estos datos es fácil hacer la representación de la frecuencia de cada medida mediante un histograma:

1.5 CÆLIS para investigadores

5.1.3 Ejemplo 3: Análisis rápido, navegando entre datos.

Dentro del marco del proyecto AEROPA, un proyecto del GOA-UVa que trata de evaluar la calidad de las estaciones de AERONET en Europa, CÆLIS se encarga de la asimilación de datos de AERONET entre los años 2000 y 2010 y su procesado para la obtención de estadísticos. En la WEB del sistema se puede navegar rápidamente entre estaciones y obtener información general con la que el investigador, sin conocimiento previo de la estación, pueda hacerse una idea de cómo es ésta: desde cuándo mide, cantidad de datos en nivel de calidad asegurada (2.0) y una caracterización

climatológica de las medidas obtenidas. A continuación se presenta esta información de la estación de El Arenosillo (Huelva) (Toledano, C. et al, 2007):

Distribución y cantidad de los datos:

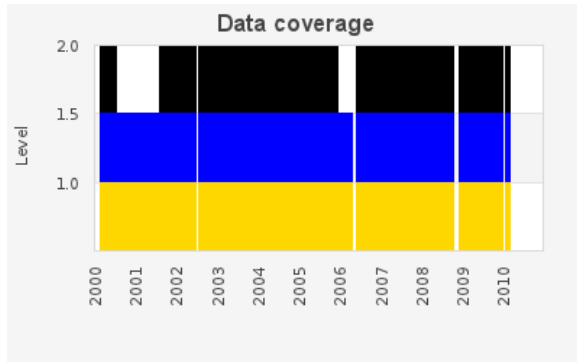


Figura 13: Cobertura de datos en AERONET entre los años 2000 y 2010 de la estación de El Arenosillo.

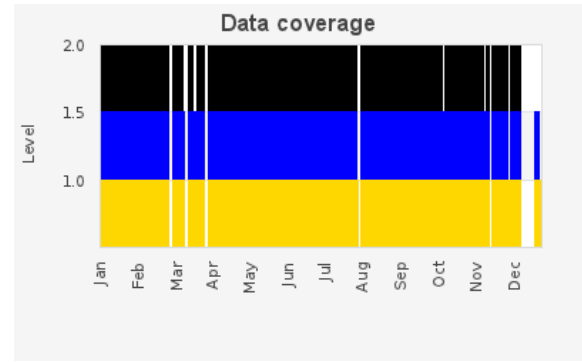


Figura 14: Cobertura de datos en AERONET para la estación de El Arenosillo en el año 2005

En la Figura 13 se ve como la estación comenzó a medir en el año 2000 de manera continua hasta comienzos del 2010 cuando cesó su actividad. Además se ve como un conjunto de datos del año 2000-2001 no llegaron a obtener el estatus de calidad asegurada. En la Figura 14 se ve con más nitidez la cobertura de datos del año 2005. En esta gráfica se aprecia la falta de datos de calidad asegurada en diciembre del 2005.

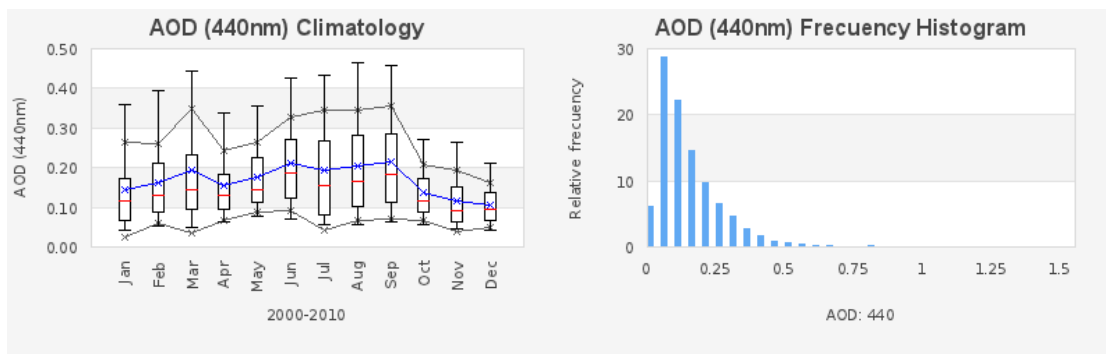


Figura 15: Caracterización del espesor óptico de aerosoles sobre la estación de El Arenosillo.

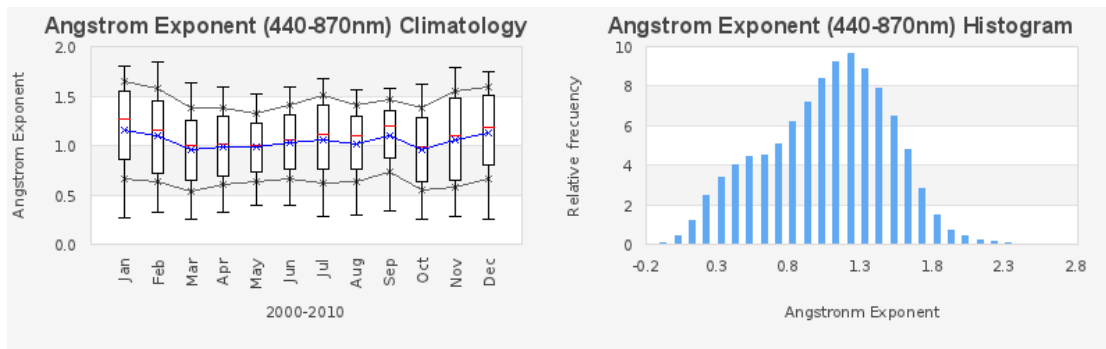


Figura 16: Caracterización de la exponente α de Ångström sobre la estación de El Arenosillo

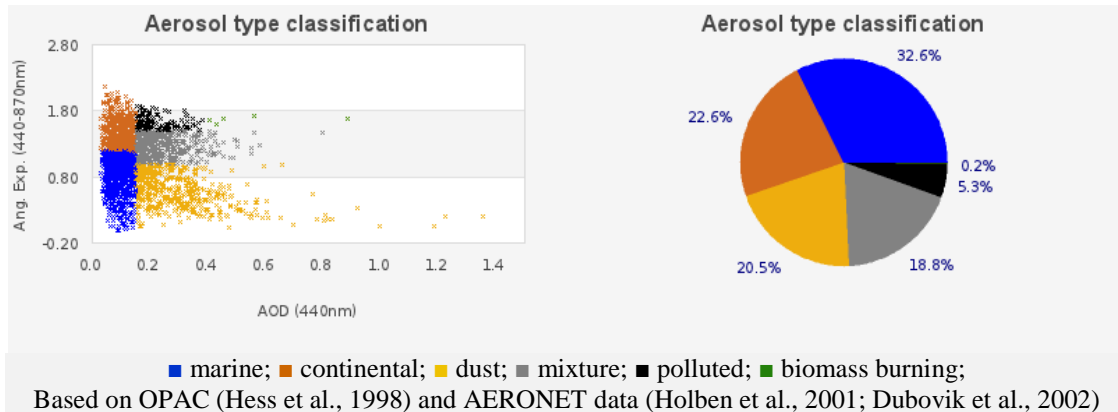


Figura 17: Caracterización del tipo de aerosol sobre la estación de El Arenosillo

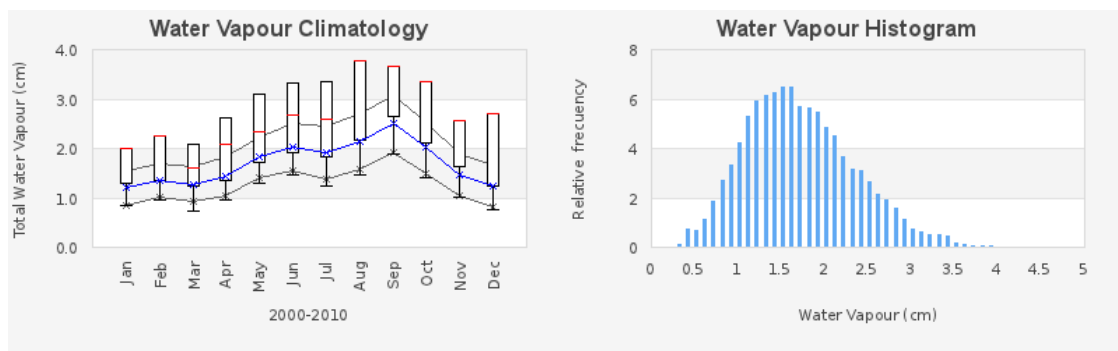


Figura 18: Caracterización del vapor de agua en columna sobre la estación de El Arenosillo

En las figuras anteriores se aprecia cual es la característica del aerosol sobre la estación de El Arenosillo y del vapor de agua. En la web de CÆLIS además de estas gráficas se pueden encontrar los datos a partir de los que han sido generados tabulados en tablas y otros datos de interés como las características microfísicas de los aerosoles (por ejemplo distribución de tamaños o esfericidad).

5.1.4 Ejemplo 4: Estudio de eventos desérticos

A partir de los datos que obtiene el sistema para conformar la base de datos del proyecto AEROPA también se pueden realizar estudios “a medida”. Utilizando la interfaz SQL se puede extraer los datos en el formato deseado para realizar estudios orientados a publicaciones. Como ejemplo de esto se presenta una de las ideas del GOA-UVA, la creación de un algoritmo automático que identifique y cuantifique los eventos desérticos sobre una estación. Durante el estudio de este algoritmo se partía de un inventario de eventos desérticos sobre la estación de El Arenosillo (Toledano, C. et al, 2007) los cuales se realizaba el estudio de sus características identificativas. Ante esto se propone la siguiente cuestión: Realizar un listado de una serie de estadísticos sobre los días de eventos desérticos (listado en CSV). Este estudio se realiza con un pequeño script de 15 líneas:



```
#!/bin/bash

user=
psw=
db=aeropa20110928

mysql="mysql -u$user -p$psw -D$db -N -e"

echo -e "from\tto\tavg(aod 440)\tavg(alfa 440-870)\tmax(aod 440)\tmin(alfa 440-870)"
while IFS=, read from to
do
    $mysql"SELECT      '${from}'      ,      '${to}',      FORMAT(AVG(\`aod_440\`),13),
FORMAT(AVG(\`440-870_angstrom\`),13),      FORMAT(MAX(\`aod_440\`),13),
FORMAT(MIN(\`440-870_angstrom\`),13) FROM 20_aod WHERE station='El_Arenosillo'
and \`date\`>'${from} 00.00.00' and \`date\`<'${to} 23.59.59'"
done < inventario_2000-2008_caelis.txt
```

Figura 19: Script de estudio del catálogo de eventos desérticos

Cuyas primeras líneas de resultado son expuestas en la tabla siguiente:

Tabla 1: Salida del análisis de eventos desérticos

From	To	avg (aod 440)	avg (alfa 440-870)	max (aod 440)	min (alfa 440-870)
26/02/2000	29/02/2000	0,2912	0,7628	0,4674	0,4040
14/05/2000	17/05/2000	0,2331	0,7835	0,4362	0,3413
03/06/2000	04/06/2000	0,2054	0,7175	0,3624	0,4561
08/06/2000	08/06/2000	0,1978	0,4544	0,2556	0,3407
23/06/2000	26/06/2000	0,2581	0,8234	0,8320	0,3663
05/07/2000	09/07/2000	0,2635	0,4538	0,3724	0,1599
21/07/2000	21/07/2000	0,4914	0,3349	0,5202	0,2217
30/07/2000	03/08/2000	0,3541	0,3452	0,5764	0,1137
06/08/2000	11/08/2000	0,2857	0,6748	0,6720	0,2756
...

Aquí es mostrada es la primera aproximación al problema de valorar los eventos desérticos pues en el estudio real se hizo uso de percentiles y otros estadísticos. Aún así el ejemplo ilustra cómo una vez formada la base de datos se puede manipular la información con gran flexibilidad llegando incluso a realizar pequeños programas que usen conexiones directas a la BD.

1.6 Monitorización

Si bien hasta aquí el software cumple lo prometido es importante estudiar si lo podrá hacer igual de bien a medida que la red RIMA crezca o el GOA-UVa decida añadir nuevas funcionalidades. Sin profundizar en el tema de la escalabilidad pues se podían estudiar muchos y variados aspectos (optimización de los algoritmos, *benchmarking* en función del número de usuarios, paralelización de las acciones...) la idea es aportar unos números del estado actual del sistema y verificar su idoneidad.

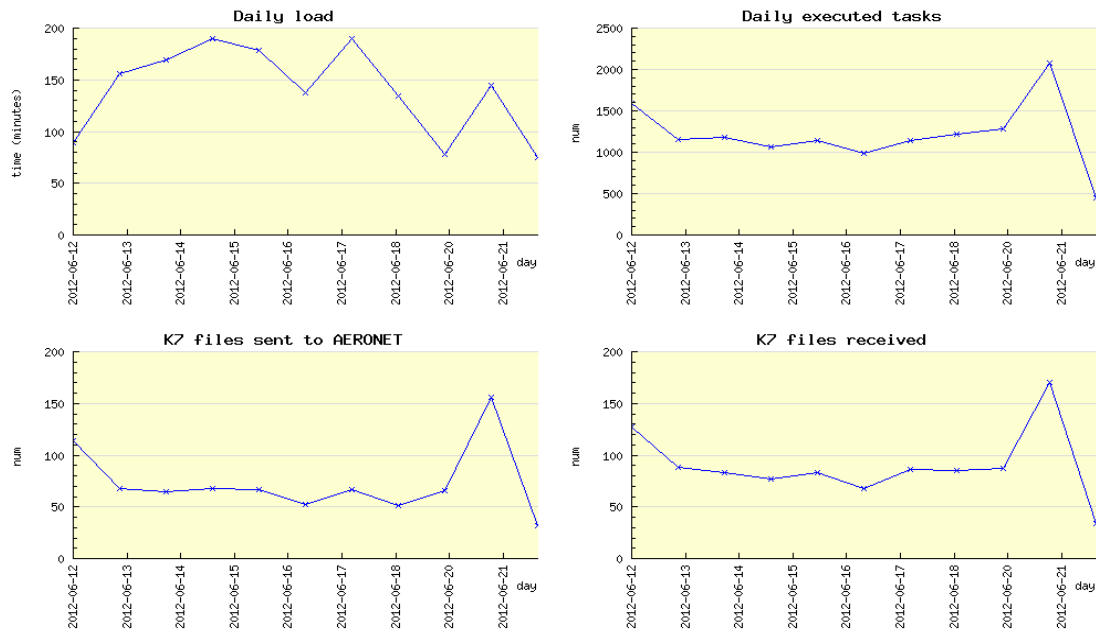


Figura 20: Monitorización del sistema

El número total de acciones que CÆLIS realiza al día es entorno a las 1200. El tiempo de ejecución de estas tareas está entorno a las dos horas al día lo que quiere decir que el sistema está muy lejos de la situación de colapso que se ha explicado. La figura superior muestra estos datos a lo largo de una semana además del número de k7 recibidos de las estaciones y el número de ellos enviados a la NASA. La WEB de CÆLIS cuenta con una página para el seguimiento y mantenimiento del propio sistema accesible por el administrador. Desde esa página además de poder modificar el comportamiento de la pila de trabajo del sistema de forma manual se puede ver el log de acciones y sus resultados. De manera complementaria, gráficas como las mostradas en la Figura 20 y tablas que sintetizan la información más importante están disponibles en tiempo real.

6. CONCLUSIONES

La primera conclusión que deriva de los objetivos propuestos son que la creación de una herramienta que automatiza las tareas de gestión de la red minimiza el trabajo operativo sobre ella además de que aumenta la calidad de los procesos y minimiza los errores. Además, el uso de tecnología SQL para la gestión de los datos potencia la capacidad investigadora que con poco esfuerzo puede extraer y estudiar la información realizando potentes búsquedas y en poco tiempo.

A la vista de los resultados extraídos de la monitorización el software desarrollado es técnicamente viable tanto ahora como en un futuro cercano sin tener que tomar medidas radicales de optimización.



7. BIBLIOGRAFÍA

Ångstrom, A. «On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air.» *Geograf. Ann Deut.*, nº 11 (1929): 156-166.

Ångstrom, A. «The parameters of atmospheric turbidity.» *Tellus*, nº 16 (1964): 64-76.

Dubovik, O., y M.D. King. «A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements.» *J. Geophys. Res.*, nº 105 (2000): 20673-20669.

Fuertes, D. *CÆLIS: sistema de gestión y explotación para una red de investigación en aerosoles*. Valladolid: PFC. Ingeniería Informática, Universidad de Valladolid, 2010.

Harrison, L., y J. Michalsky. «Objective algorithms for the retrieval of optical depths from ground-based measurements.» *Applied Optics*, nº 33 (1994): 5126-5132.

Hess, M., y P. & Schult, I. Koepke. «Optical Properties of Aerosols and Clouds: The Software Package OPAC.» *Bulletin of the American Meteorological Society* 5, nº 79 (1998): 831-844.

Holben, B.; Eck, T.F.; Slutsker, I.; Tanré, D.; Buis, J.P.; Setzer, A.; Vermote, E.; Reagan, J.A.; Kaufman, I.J.; Nakajima, T.; Lavenue, F.; Jankowiak, I.; Smirnov, A. «AERONET- A Federated Instrument Network and Data Aerosol Characterization.» *Elsevier Science Inc.*, 1998.

Holben, B.; Tanre, D.; Smirnov, A.; Eck, T.; Slutsker, I.; Abuhassan, N.; Newcomb, W.; Schafer, J.; Chatenet, B.; Lavenue, F.; Kaufman, Y.; Vande Castle, J.; Setzer, A.; Markham, B.; Clark, D.; Frouin, R.; Halthore, R.; Karnieli, A.; O'Neill, N.; Pietras, C.; Pinker, R.; Voss, K.; Zibordi, G. «An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol Optical Depth from AERONET.» *J. Geophys. Res.* 5, nº 79 (1998): 831-844.

Shaw, G.E. «Sun photometry.» *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, nº 64 (1983): 4-10.

Smirnov, A., B. Holben, T.F. Eck, O. Dubovik, y I. Slutsker. «Cloud-screening and Quality Control Algorithms for the AERONET Database.» *Remote Sens. Environ.*, nº 73 (2000): 337-349.

Toledano, C., V.E. Cachorro, A.M. de Frutos, M. Sorribas, N. Prats, y B.A. de la Morena. «Inventory of African desert dust events over the southwestern Iberian Peninsula in 2000-2005 with an AERONET Cimel Sun photometer.» *Journal of Geophysical Research*, nº 112 (2007): D21201.

Toledano, C.; Cachorro, V.E.; Berjón, A.; de Frutos, A.M.; Sorribas, M.; de la Morena, B.A.; Golub, P. «Aerosol optical depth and Ångstrom exponent climatology at El Arenosillo AERONET site (Huelva, Spain).» *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, nº 103 (2007): 795-807.