

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA DISPONIBILIDAD DE OBSERVACIONES METEOROLÓGICAS EN TIEMPO REAL.

Casos de estudio: AEMET, JCYL Y METEOCLIMATIC

Federico Vladimir Gutiérrez Corea^(1,2), Miguel Ángel Manso Callejo⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Ctra de Valencia Km7 Madrid 28031, ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía, (fv.gutierrez, m.manso)@upm.es

⁽²⁾ Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Managua, República de Nicaragua, vladimir.gutierrez@gf.ineter.gob.ni

RESUMEN

La observación realizada por redes de estaciones meteorológicas en tierra se considerada la mejor fuente de información que capta la realidad en comparación con otras. El incremento de la demanda de información meteorológica requerida por distintos productos y aplicaciones relacionados con el clima y la meteorología, obligan a las organizaciones e instituciones a ofrecer información de un mayor número de fuentes y con menor periodicidad entre muestras. En el territorio Español existen varias redes de estaciones metrológicas gestionadas por organismos oficiales tanto a nivel estatal como autonómico. Gracias a la aparición de la Web 2.0, también existen redes de voluntarios que comparten las observaciones de sus estaciones, hecho que ha permitido que los consumidores de información también puedan ser productores.

En el éste trabajo se presenta el resultado de analizar espacio-temporal de las observaciones ofrecidas en tiempo cuasi-real para las redes AEMET, JCYL y METEOCLIAMTIC para evidenciar la disponibilidad de información meteorológica. Los resultados confirman que la red autonómica de la JCYL es 30-minutal (como informa la propia red), mientras que las redes AEMET y METEOCLIMATIC presentan entre un 62% y un 83% de las observaciones con periodos sub-horas (más de 48 observaciones diarias) respectivamente. En cuanto a la distribución espacial, el análisis de lagunaridad realizado, dividiendo en 276 celdas en una malla regular de 19 x 23 km (430 km² c/u) para el área geográfica de Castilla y León, respecto de las estaciones de las tres redes que se encuentran ahí contenidas, revela que aproximadamente el 50% de las celdas se encuentra ocupada por alguna estación y en el 50% de celdas restantes no hay ninguna.

1. INTRODUCCIÓN

La observación realizada por redes de estaciones meteorológicas en tierra se considerada la mejor

f fuente de información que capta la realidad en comparación con otras, por ejemplo: imágenes satelitales, modelos que derivan una variable meteorológica a partir de otros valores, métodos de interpolación que derivan un valor meteorológico en un punto donde no existe observación directa a partir de observaciones cercanas, etc. El incremento de la demanda de información meteorológica requerida por distintos productos y aplicaciones relacionados con el clima y la meteorología (por ejemplo: la elaboración y validación de modelos), obligan a las organizaciones e instituciones a ofrecer información de un mayor número de fuentes y con menor periodicidad entre muestras (Salcedo-Sanz et al., 2009), (Roebber, Schultz, Colle, & Stensrud, 2010), (MADIS, 2012). La aparición de la Web 2.0 ha permitido que los consumidores de información también puedan ser productores (Knights, 2007), (Yanes, 2011). En último lugar, y como consecuencia del auge de internet y de los movimientos sociales relacionados con el acceso en abierto a los datos públicos, ha aparecido el movimiento OpenData bajo el cual las administraciones comparten su información con los ciudadanos (Ferrer-Sapena, Peset, & Aleixandre-Benavent, 2011), (Abella, 2011). En el territorio Español existen varias redes de estaciones metrológicas gestionadas por organismos oficiales tanto a nivel estatal como autonómico, también existen redes de voluntarios que comparten información de sus estaciones meteorológicas privadas. Todas estas redes comparten su información en internet, ya sea mediante páginas web, servidores de archivos FTP, hojas de cálculo, etc.

El resto del documento se estructura del siguiente modo: En la sección 2 se enumeran los materiales utilizados, describiéndose de forma general las características de acceso a las tres fuentes de información y los datos recolectados, también se describe el método desarrollado para la elaboración del trabajo. En la sección 3 se presentan y discuten los resultados alcanzados. Para finalizar, la sección 4 se listan las principales conclusiones del trabajo.

2. MATERIALES Y METODO

Los materiales y métodos utilizados involucran tres fuentes de información de redes meteorológicas por estaciones en tierra, distintos pasos metodológicos y la elaboración de aplicaciones informáticas que permiten acompañar y automatizar parte de la metodología.

Datos

Tres fuentes de observaciones meteorológicas por estaciones en tierra en el territorio Español han sido utilizadas en el presente estudio. Dos son redes gubernamentales, la primera a nivel nacional, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), la segunda red es a nivel de comunidad autónoma, es la red de la junta de Castilla y León (JCYL). La tercera red, compuesta por estaciones voluntarias, es METEOCLIMATIC. En la figura 1 se presenta un mapa con la distribución espacial y la cantidad de estaciones por cada red de estaciones meteorológicas aquí estudiadas.

Los procesos previos para este estudio pasan por la recolección de las observaciones meteorológicas de las tres redes. El total de observaciones recolectadas para las tres redes asciende, aproximadamente a 55 millones de registros para un total de 2155 estaciones. A continuación se describen brevemente las características de acceso, formatos y fechas iniciales de recolección para cada red.

AEMET (AEMET, 2012) pone a disposición del público en general la información de sus estaciones meteorológicas por dos vías. La primera es mediante una [pagina web \(http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/ultimosdatos\)](http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/ultimosdatos) y la segunda mediante un servicio ftp (<ftp://ftpdatos.aemet.es>). En este estudio se utilizan los datos diez-minutales procedentes del ftp¹. La recolección de esta fuente de observaciones meteorológicas se inicia a finales de noviembre de 2010 cuando AEMET las puso a disposición de los ciudadanos. En éste inicio se contaba con aproximadamente 220 estaciones en tiempo cuasi-real (AEMET, 2010). Unos 8 meses después, en Julio de 211, esa cantidad ha aumentado a casi 800 estaciones. Nuestros registros, a fecha de 29 de Febrero de 2012 muestran que 760 estaciones han registrado información en tiempo cuasi-real en algún momento.

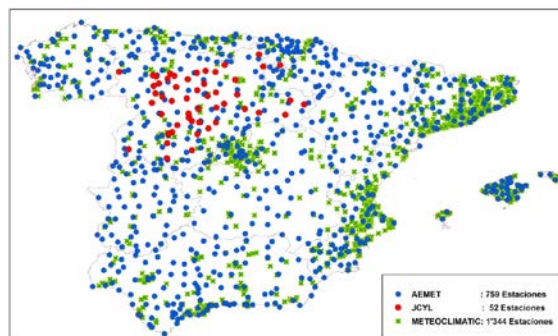


Fig. 1. Distribución espacial de estaciones de las redes AEMET, JCYL y METEOCLIMATIC.

La red de estaciones meteorológicas automáticas de la Junta de Castilla y León (JCYL) a través del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL, 2012) ofrece en un servidor ftp de acceso público (<ftp://ftp.itacyl.es>) la información de sus estaciones. Para este caso de estudio se ha recolectado la información disponible desde enero de 2009 y según los registros, hasta el 29 de Febrero de 2012 al menos 51 estaciones han registrado información.

La red de estaciones de voluntarios METEOCLIMATIC (Meteoclimatic, 2012), ofrece dos formas para compartir la información de sus estaciones meteorológicas. La primera mediante páginas web (<http://www.meteoclimatic.com>) y la segunda mediante hilos de suscripción RSS (http://www.meteoclimatic.com/index/wp/rss_es.html). Según METEOCLIMATIC, hasta Febrero de 2012 existe un total 1'657 estaciones registradas a nivel ibérico. Para esta fuente, y caso, se ha recolectado la información desde Mayo de 2010 y según nuestros registros, hasta el 29 de Febrero de 2012, al menos 1'344 estaciones han registrado información a nivel nacional.

Método

El método utilizado para el análisis espacio-temporal de las observaciones en tiempo real para las tres redes de interés en el presente estudio consta de un total de 6 pasos, que se enumeran y describen brevemente a continuación.

1. Identificación de los URL de acceso a las redes y puntos de acceso a las observaciones otorgadas por cada estación. En esta etapa se accede a los sitios webs de los organismos conocidos en cuestión (AEMET, JCYL y METEOCLIMATIC) para descubrir y apuntar las direcciones exactas de acceso a las redes y observaciones de cada una de de sus estaciones. Mediante el catálogo OpenData (<http://datos.gob.es>) de España también se pudiera encontrar este tipo de información, una tercera forma es la exploración de las paginas web de los organismos meteorológicos de las CCAA, y una

¹ ftp://ftpdatos.aemet.es/datos_observacion/observaciones_diezminutales

última manera es mediante la búsqueda en internet utilizando palabras claves. Esta última vía es principalmente útil para el descubrimiento de datos captados por estaciones de voluntarios.

2. Determinación de las localizaciones de las estaciones que conforman la red. Esta etapa implica la creación de una Geo-Base de Datos (GeoBD) que permita presentar una visión espacial de la información recolectada por las estaciones. Para ellos se ha tenido que explorar, encontrar, apuntar y en algunos casos convertir las coordenadas geográficas de cada estación.

3. Recolección periódica de las observaciones de las tres redes (AEMET, METEOCLIMATIC y JCYL). La recolección periódica de las observaciones meteorológicas de las redes, en función a la periodicidad, formatos de acceso y de datos de cada red, ha implicado el desarrollo de un conjunto de programas recolectores (web-robots) que recuperan la información, la interpretan y finalmente la registran en una GeoBD. En la figura 2 se ilustra la arquitectura de sistemas implementada. En esta figura se representan las tres redes meteorológicas en los tres bloques de la derecha. En el bloque de la izquierda y con una metáfora de engranaje se representan los recolectores de cada red. Estos recolectores están especializados en el protocolo de acceso, formato de datos, periodicidad, latencia de entrega y tipo de tiempo de cada red (UTC, local). Una vez adquirida la información, los recolectores la agregan debidamente interpretada en una GeoBD común.

4. Análisis de la cantidad de observaciones diarias recolectadas por cada estación para determinar su periodicidad. El valor estadístico de la moda de la cantidad de observaciones diarias recolectadas por cada estación, nos permite indicar la periodicidad de las estaciones. La desviación estándar de las modas nos permite conocer lo estable que son las estaciones respecto a la entrega de sus observaciones. Estos análisis nos permiten encontrar patrones de comportamiento de cada red.

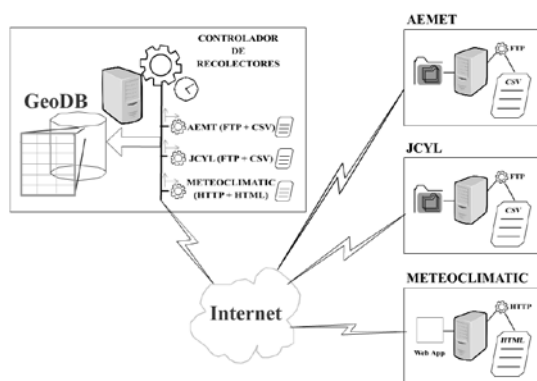


Fig. 2. Arquitectura de sistemas para programas recolectores de las observaciones meteorológicas para las tres redes.

5. Análisis agregado a nivel de redes, de la cantidad de observaciones diarias recolectadas por cada estación. En éste análisis se utilizan como datos de entrada los estadísticos de cada estación resultantes de la etapa anterior, y se agregan dichos resultados a nivel de red.

6. Análisis espacial de la dispersión geográfica de las estaciones. En ésta fase se realiza un análisis de lagunaridad (regiones sin observaciones) para las estaciones de las tres redes que están contenidas dentro de la comunidad autónoma de Castilla y León (JCyL). La lagunaridad es un método que permite describir patrones geográficos de dispersión espacial (Plotnick, Gardner, Hargrove, Prestegard, & Perlmutter, 1996). En este caso lo que se hace es dividir el área geográfica de la JCyL en celdas de dimensiones proporcionales al largo y ancho de la comunidad autónoma con la condición que cada celda contenga una área equivalente a la división del área total de la CyL entre la cantidad de estaciones.

Software

Una vez recolectadas y almacenadas las observaciones se ha tenido que realizar el pre-procesamiento de los datos para analizar el periodo y la localización de la información disponible de estas redes. En todas las etapas (resumidas como recolección, almacenamiento, reprocesamiento y análisis), ha sido necesario el desarrollo de un conjunto de programas informáticos. Algunos de estos programas se ejecutan periódicamente, como los de recolección, y otros bajo demanda como los que realizan los cálculos estadísticos.

3. RESULTADOS Y DISUCIÓN

Aunque en este estudio solo se analizan las tres redes anteriormente numerada, el método aquí utilizado nos ha permitido identificar otras 21 redes de información meteorológicas con estaciones en tierra para España, de las cuales 14 son Gubernamentales (DGT, EBRO, ARAGÓNSIAR, Castilla la Mancha, CATALUÑA, CEAMET, COMMAD, COMVALENCIANA, EUSKALMET, GALIC, GOBRIOJA, MUMMAD, MURCIA y NAVARRA) y 7 más voluntarias (AWEKAS, CWOP, WeatherLink, WUNDER, MeteoComillas, MeteoSal, UNIMURCIA). El conjunto de 21 redes adicionales identificadas suman 2'200 estaciones más.

Los resultados del análisis espacio-temporal de la disponibilidad de las observaciones meteorológicas se presentan en dos grupos. Primero los asociados con la parte temporal y segundo los relacionados con la componente espacial.

Disponibilidad temporal de las observaciones

Al analizar el conjunto de todas las observaciones recolectadas para las tres redes y agruparlas por temporalidad y la cantidad de observaciones diarias para cada estación, se encuentra que solo las redes AEMET con el 62% y METEOCLIMATIC con el 83% de sus observaciones respectivamente ofrecen observaciones con periodos inferiores a la hora. Se confirma que la red de la JCYL entrega observaciones con periodicidad de 30 minutos, mientras que AEMET y METEOCLIMATIC solo ofrecen un 29% y 10% de sus observaciones respectivamente con ésta periodicidad. En todos los casos las observaciones horarias son las más bajas (desde un punto de vista porcentual) teniendo AEMET un 9% y METEOCLIMATIC un 7% respectivamente. En la figura 3 se presentan estos valores en forma de gráfico de múltiples barras en 3D. Aquí el eje z representa el valor porcentual de observaciones respecto a una red (dispuestas en el eje x) y las distintas periodicidades diferenciadas por colores.

La moda de la cantidad de observaciones diarias entregadas por estación, es el principal estadístico utilizado para determinar la periodicidad en tiempo real de cada una. Las figuras 4, 5, 6 y 7 presentan estaciones típicas para las redes AEMET (4 y 5) y METEOCLIMATIC (6 y 7), estas estaciones han sido caracterizadas como sub-horas por poseer valores de modas de la cantidad de observaciones diarias mayor a 48 por día. En las figuras 4, 5, 6 y 7 se puede apreciar, que hay estaciones con distintos niveles de dispersión respecto a la cantidad de observaciones que pueden ofrecer por día. Existen algunas con valores mas concentrados respecto a la moda como los casos en las figuras 4 y 6, mientras que otros presentan una mayor dispersión como los casos de las figuras 5 y 7.

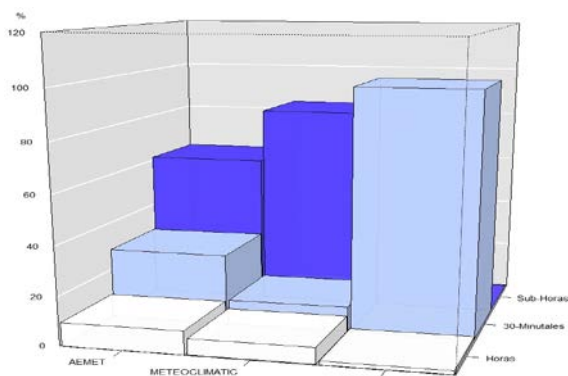


Fig. 3. Promedio porcentual de la cantidad de observaciones diarias agrupadas por red y periodicidad. Sub-horas [barras más oscuras], 30-minutales [barras grises] y Horarias [barras blancas].

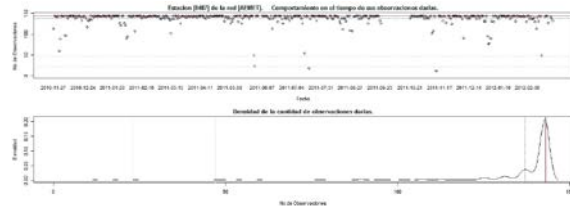


Fig. 4. Diagramas de dispersión de la cantidad de observaciones por día y su correspondiente diagrama de densidad para la estación 8487 de la red AEMET. Moda = 144, media = 137, desviación estándar = 16, el 99 % de los días entrega mas de 48 observaciones diarias.

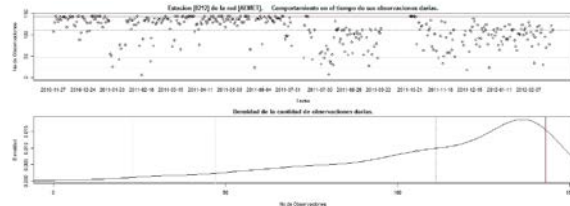


Fig. 5. Diagramas de dispersión de la cantidad de observaciones por día y su correspondiente diagrama de densidad para la estación 8212 de la red AEMET. Moda = 144, media = 111, desviación estándar = 31, el 95 % de los días entrega mas de 48 observaciones diarias.

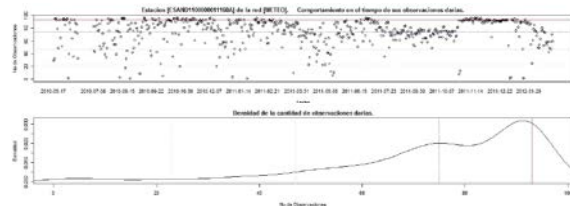


Fig. 6. Diagramas de dispersión de la cantidad de observaciones por día y su correspondiente diagrama de densidad para la estación ESAND110000011160A de la red METEOCLIMATIC. Moda = 93, media = 75, desviación estándar = 20, el 90 % de los días entrega mas de 48 observaciones diarias.

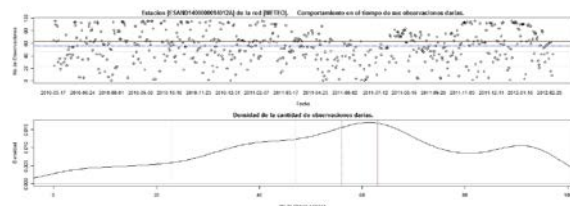


Fig. 7. Diagramas de dispersión de la cantidad de observaciones por día y su correspondiente diagrama de densidad para la estación ESAND140000014012A de la red METEOCLIMATIC. Moda = 63, media = 56, desviación estándar = 25, el 63 % de los días entrega mas de 48 observaciones diarias, el 24 % de los días con una cantidad de entre 24 a 48 observaciones por día y el restante 13 con una cantidad de observaciones inferior o igual a las 24 por día.

De forma agregada para AEMET, se encontró 428 estaciones presentan en mayor proporción valores de modas sub-horas (56 % de las estaciones), 235 estaciones presentan modas 30-minutales (31 %) y 65 estaciones presentan modas horarias (13 %). En el caso de METEOCLIMATIC 1186 estaciones presentan en mayor proporción valores de modas

sub-horas (88 % de las estaciones), 68 estaciones presentan modas 30-minutales (5%) y 90 estaciones presentan modas horarias (7 %). El caso de la red de la JCYL el 100% de sus estaciones presenta modas de valores 30-minutales.

En la figura 8 se muestra un mapa con las estaciones sub-horas para las redes AEMET y METEOCLIMATIC con 428 y 1186 estaciones respectivamente. El mapa agrupa la cantidad de observaciones diarias por estación en tres niveles de desviación estándar. Para diferenciar las estaciones con distintos valores de desviación estándar se ha realizado 3 niveles de agrupación con distintas intensidades de color. Los más oscuros representan una menor SD (de 0 a 20), los colores con intensidad intermedia una SD media (entre 20 y 40) y los colores con intensidades claros representan a las SD mayores (entre 40 y 62). En esta figura se puede apreciar que para AEMET 70 estaciones (16%) presentan desviación estándar entre 0 y 20, 154 estaciones (36%) presentan desviación estándar entre 20 y 40 y, las restantes 204 estaciones (48 %) presentan desviación estándar entre 40 y 62. Para el caso de METEOCLIMATIC, 713 estaciones (60%) presentan una desviación estándar entre 0 y 20, y las restante 473 (40%) presentan una desviación estándar entre 20 y 36.

Disponibilidad espacial de las observaciones

La disponibilidad espacial de las observaciones se realiza para las estaciones que están contenidas dentro de la comunidad autónoma de Castilla y León (CyL), por ser el área geográfica donde existen estaciones para las tres redes de estudio.

En la figura 9 se presenta un mapa con las estaciones meteorológicas de cada red diferenciadas por distinta simbología, existiendo 51 estaciones de la red de la JCYL, 99 perteneciente a la red AEMET y 69 perteneciente a la red de METEOCLIMATIC, para un total de 219 estaciones debido a las tres redes.

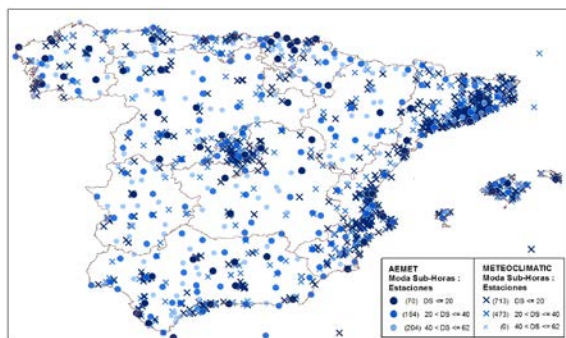


Fig. 8. Distribución espacial de estaciones con modas sub-horas y agrupadas en 3 niveles de desviación estándar de las redes AEMET y METEOCLIMATIC.

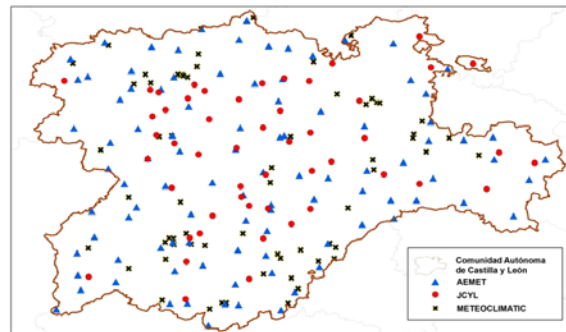


Fig. 9. Distribución espacial de estaciones de las redes AEMET, JCYL y METEOCLIMATIC dentro de la Comunidad Autónoma de Castilla y León.

En la figura 10 se presenta el porcentaje de la moda de observaciones diarias de cada estación meteorológica aquí contenida. En 10(a) se muestra AEMET y puede apreciarse la variedad entre sub-horas y 30-minutales, en 10(b) se muestra METEOCLIMATIC y se puede observar como la mayoría son sub-horas, finalmente en 10(c) se muestra la de la JCYL.

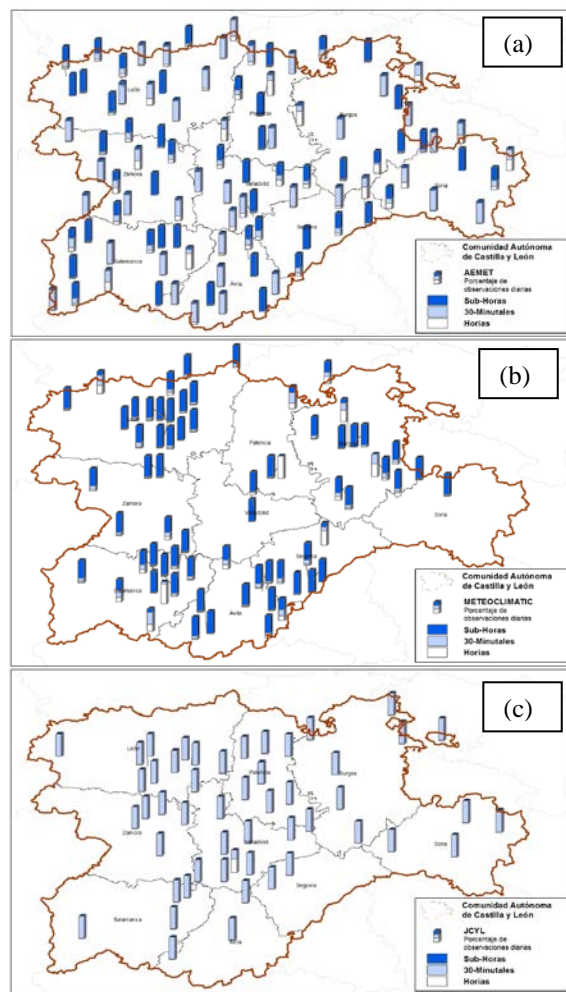


Fig. 10. Porcentaje de la moda de observaciones diarias por cada estación en la comunidad autónoma de Castilla y León. (a) es la red de AEMET, (b) es la red de METEOCLIMATIC y (c) la red de la JCYL.

El análisis espacial de lagunaridad realizado ha seguido la siguiente configuración para la creación de malla:

- Área aprox. del rectángulo contenedor (BBox) de CyL = $154'215 \text{ km}^2$.
- Alto aprox. del BBox = 353 km.
- Ancho aprox. del BBox = 438 km.
- Relación aprox. Ancho / Alto = 1,2456.
- Superficie aprox. de la JCyL = $94'223$
- Área aprox. de los cuadrillos (celdas) para la malla = 430 km^2 por estación. ($94'223 \text{ km}^2 / 219$ estaciones).
- Altura aprox. de cada celda = $18'585$ km.
- Ancho aprox. de cada celda = $23'149$ km.

El numero total de celdas esta en función al punto de origen de su creación y la cantidad de celdas que están contenidas o son tocadas por el polígono que representa a la JCyL. Se realizaron 4 mallas cada una empezando ha 0.25 del ancho y alto de celda, de la celda origen anterior. Obteniéndose en los cuatros casos una cantidad de celdas vacías de entre el 49.08 % y el 51.66%.

En la figura 11 se presenta un diagrama de multi-histogramas de las 4 mallas creadas. Cada grupo representa el total de estaciones contenidas por celdas. El grupo de la izquierda representa las lagunas (celdas sin ninguna estación en su interior) y los siguientes nueve grupos a la derecha de lagunas, representa a las celdas con 1 o mas estaciones en su interior. Se puede apreciar que las barras con el segundo color de intensidad, denominado en la leyenda "Original + Delta (x, y) * 025", es la barra con menos cantidad de celdas lagunas y representa la maya con el 49.08% de celdas lagunas. La figura 12 presenta el mapa correspondiente a la maya con el numero de celdas lagunas mas baja, 49.08 %.

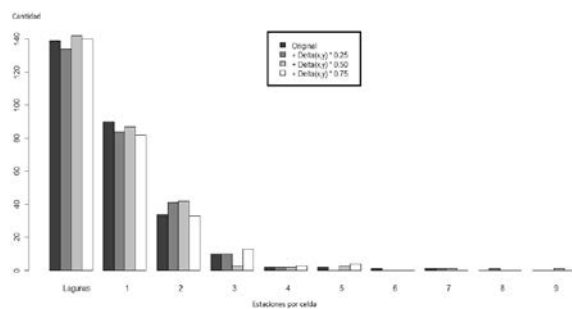


Fig. 11. Multi-histograma de 4 mallas. El primer grupo representa la cantidad de celdas lagunas y los otros nueve grupos a la derecha representa a las celdas que contienen 1 o mas estaciones.

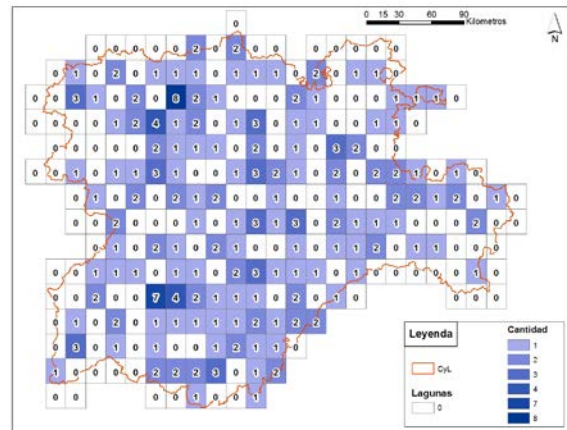


Fig. 12. Mapa de lagunaridad y cantidad de estaciones por celdas para la malla con el menor numero de lagunas (de las 4 creadas).

4. CONCLUSIONES

La metodología aquí utilizada ha permitido identificar la existencia de otras 21 redes de información meteorológicas por estaciones en tierra en el territorio español, que sumada a las 3 aquí estudiadas representarían un total aproximado de 4'400 estaciones.

Una cantidad considerable de estaciones de voluntarios otorgan información en tiempo cuasi-real y en periodicidades bajas en todo el territorio Español. Debido a la cantidad que representan es posible que en un futuro deban ser tomadas en cuenta aunque para ello primero se les deba realizar algún proceso que permita indicar la calidad de sus observaciones.

Existe mucha heterogeneidad de características entre las distintas redes y sus estaciones en relación con los formatos en que entregan sus datos, protocolos de acceso, periodicidades, entre otras.

La existencia de tantas redes no es evidente a simple vista en internet. A pesar de la existencia de OpenData para España, una búsqueda sencilla en el catálogo datos.gob.es no arroja el resultado deseado. Además el hecho de que existan redes de voluntarios implicaría la necesidad de un catálogo en internet para este tipo de redes.

La red d la JCYL es completamente 30-minutal.

La red de voluntarios, METEOCLIMATIC, es la que posee una mayor cantidad porcentual de estaciones con modas sub-horas en sus observaciones para todo el territorio español, con aproximadamente el 88%. A su vez en términos de valores absolutos esto representa un total de 1'186 estaciones. La mayoría de las estaciones sub-horas de METEOCLMATIC, el 60% (713 estaciones), presentan una desviación estándar baja, entre 0 y 20.

El restante 40% (473 estaciones) presentan una desviación estándar que va de 20 a 36.

La red AEMET presenta el 58% (438) de sus estaciones con la mayoría de sus modas de tipo sub-hora para todo el territorio Español. De ellas el 16% presentan una desviación estándar entre 0 y 20, el 36 entre 20 y 40, y el restante 48% entre 40 y 62.

El análisis de lagunaridad indica que la dispersión geográfica de las estaciones contenidas dentro de la comunidad autónoma de Castilla y León es de aproximadamente el 50 % de las celdas.

REFERENCIAS

Abella, A. (2011). Reutilización de información pública y privada en España. Madrid: Rooter.

AEMET. (2010). AEMET establece el acceso libre y gratuito a todos sus datos por medios electrónicos. Retrieved 05/17, 2011, from http://www.aemet.es/es/zona_portada_destacada/politicadatos

AEMET. (2012). Quiénes somos. Retrieved 02/17, 2012, from http://www.aemet.es/es/quienes_somos

Ferrer-Sapena, A., Peset, F., & Aleixandre-Benavent, R. (2011). Acceso a los datos públicos y su reutilización: Open data y open government. *El Profesional De La Información*, 20(3), 260-269.

ITACyL. (2012). ¿Qué es el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León? Retrieved 02/13, 2012, from http://www.itacyl.es/opencms_wf/opencms/itacyl/quienes_somos/que_es_itacyl/index.html

Knights, M. (2007). Web 2.0. *Communications Engineer*, 5(1), 30-35.

MADIS. (2012). Meteorological Assimilation Data Ingest System. Retrieved 02/21, 2012, from <http://www-sdd.fsl.noaa.gov/MADIS/>

Meteoclimatic. (2012). ¿Qué es Meteoclimatic? Retrieved 02/14, 2012, from <http://www.meteoclimatic.com/index/pg.1.36.html>

Plotnick, R. E., Gardner, R. H., Hargrove, W. W., Prestegard, K., & Perlmutter, M. (1996). Lacunarity analysis: A general technique for the analysis of spatial patterns. *Physical Review E*, 53(5), 5461.

Roebber, P. J., Schultz, D. M., Colle, B. A., & Stensrud, D. J. (2010). Toward improved prediction: High-resolution and ensemble modeling systems in operations.

Salcedo-Sanz, S., Pérez-Bellido, Á. M., Ortiz-García, E. G., Portilla-Figueras, A., Prieto, L., & Correoso, F. (2009). Accurate short-term wind speed prediction by exploiting diversity in input data using banks of artificial neural networks. *Neurocomputing*, 72(4-6), 1336-1341.

Yanes, A. (2011). OpenWeather: A peer-to-peer weather data transmission protocol.