

Cooperación entre las redes de rayos de España y Portugal

Francisco Pérez Puebla

Instituto Nacional de Meteorología.

C/ Leonardo Prieto Castro, 8. 28040 Madrid. fperez@inm.es.

Resumen

Se analiza la evolución a lo largo del tiempo de la eficiencia y de la precisión de la red de rayos española desde 1.992 hasta la actualidad. En enero de 2.003 se inició el intercambio de datos entre las redes de detección de rayos portuguesa y española. Aquí se describen las características de esta cooperación y las analogías y diferencias de ambas redes así como las necesidades de adaptación de la configuración operativa para obtener el mejor rendimiento de la colaboración y para la mejora de las coberturas atlánticas. Se contrastan algunos resultados preliminares de esta experiencia con las expectativas generadas por las estimaciones teóricas de las características de calidad desde la perspectiva de la ampliación de la red española. Por otro lado, se difunden los avances en el proyecto REDRIM (red de detección de rayos de la Macaronesia: archipiélagos de Azores, Madeira y Canarias) junto con los escenarios contemplados para el próximo despliegue de la red de detección de rayos del INM en Canarias dentro del contexto de un proyecto internacional más amplio cofinanciado por el Fondo INTERREG III B de la Unión Europea. Por último, se detallan las que probablemente serán las principales características operativas de la red de rayos española ampliada a Canarias durante el 2.005 y sus principales beneficios en la mejora de la exploración radioeléctrica del Atlántico.

Evolución de las características de calidad de la red de rayos española:

La red de rayos (RR) del Instituto Nacional de Meteorología (INM) de España inició sus actividades operativas en enero de 1.992 con un total de 14 radiogoniómetros (ver tabla 1 adjunta) proporcionando información sobre las direcciones de procedencia de las señales electromagnéticas producidas por las descargas atmosféricas entre nube y tierra en la península ibérica y alrededores. La metodología de localización de la descarga que produjo la señal exigía una ordenación cronológica de la información de la totalidad de la red para la elección de los sucesos coetáneos procedentes de la observación de varias estaciones. Esta sincronización se obtenía por medio de un algoritmo de comparación del tiempo suministrado por los relojes de precisión (milésima de segundo en el periodo 1992 – 1.999) disponibles en cada estación. Con la información procedente de varias detecciones simultáneamente registradas se localizaba la descarga que produjo la señal original utilizando la tecnología trigonométrica basada en la triangulación esférica.

Las direcciones de procedencia de la señal están muy contaminadas por el entorno radioeléctrico del emplazamiento donde se encuentra cada estación de medida produciéndose errores sistemáticos en cada radiogoniómetro¹. A estos errores producidos fundamentalmente por la reradiación de la señal en fuentes de perturbación electromagnética del entorno de cada estación se le añaden otros errores aleatorios. Estos últimos están distribuidos normalmente con un valor medio de cero grados y una desviación estándar que en la configuración inicial de la RR del INM resultaron ser inferiores a un grado (0.9°). La calidad electromagnética de los entornos ha empeorado lenta pero inexorablemente conforme ha ido progresando la sociedad aumentando

gradualmente la desviación típica de los errores aleatorios durante el periodo de funcionamiento de la red desde los valores de 0.9° en el primer análisis hasta las desviaciones típicas actuales próximas a 2 gradosⁱⁱ (e incluso 3° en algunos casos).

<u>Posición</u>	<u>Latitud</u>	<u>Longitud</u>	<u>Año de incorporación a la red:</u>					
			<u>1.992</u>	<u>1.995</u>	<u>1.996</u>	<u>1.999</u>	<u>2.000</u>	<u>2.003</u>
<u>Reus</u>	41,146120	-1,159480	ALDF			IMPACT ES		
<u>Gerona</u>	41,898289	-2,760760	ALDF			IMPACT ES		
<u>Palma</u>	39,564388	-2,741270	ALDF			IMPACT ES		
<u>Manises</u>	39,484428	0,472582	ALDF			IMPACT ES		
<u>Villafria</u>	42,353882	3,627307	ALDF			IMPACT ES		
<u>Bilbao</u>	43,303989	2,923820	ALDF			IMPACT ES		
<u>Avilés</u>	43,564270	6,044190	ALDF			IMPACT ES		
<u>Matacán</u>	40,948608	5,506790	ALDF			IMPACT ES		
<u>Jerez</u>	36,736950	6,059560	ALDF			IMPACT ES		
<u>Hinojosa</u>	38,516487	5,104959	ALDF			IMPACT ES		
<u>Armillá</u>	37,136410	3,647056	ALDF			IMPACT ES		
<u>San Javier</u>	37,786129	0,810450	ALDF			IMPACT ES		
<u>Zaragoza</u>	41,660198	1,011700	ALDF			IMPACT ES		
<u>Getafe</u>	40,296478	3,718290	ALDF			IMPACT ES		
<u>Santiago</u>	42,894402	8,407200	Sin Servicio			ALDF	IMPACT ES	
<u>Aubenas</u>	44.538510	4.36807	Sin Servicio	ALDF	IMPACT			
<u>Aire-sur-Adour</u>	43.73149	-0.24860	Sin Servicio	ALDF	IMPACT			
<u>Royan</u>	45.63536	-0.97051	Sin Servicio	ALDF	IMPACT			
<u>Albi</u>	43.92000	2.14000	Sin Servicio	ALDF	IMPACT			
<u>Mimizan</u>	44.13700	-1.17000	Sin Servicio	ALDF	IMPACT			
<u>Braga</u>	41.58640	-8.44214	Sin Servicio				IMPACT ESP	
<u>Castelo Branco</u>	39.83920	-7.4780	Sin Servicio				IMPACT ESP	
<u>Alverca</u>	38.8836	-9.03075	Sin Servicio				IMPACT ESP	
<u>Olhao</u>	37.0305	-7.81748	Sin Servicio				IMPACT ESP	
<u>Posición</u>	<u>Latitud</u>	<u>Longitud</u>	<u>1.992</u>	<u>1.995</u>	<u>1.996</u>	<u>1.999</u>	<u>2.000</u>	<u>2.003</u>

Tabla 1 : Estaciones de detección de descargas eléctricas participantes en el sistema de cálculo y localización del INM. Los equipos ALDF (Advanced Lightning Direction Finding) son radiogoniómetros con tecnología exclusivamente angular. Las estaciones dotadas de tecnología temporal GPS (“Global Position System”) son las IMPACT independientemente del modelo (Improved Position Accuracy Technology) aunque mantienen las prestaciones angulares de las antiguas ALDF.

Se utilizan principalmente en la exploración radioeléctrica dos indicadores de las características de calidad de una RR: la eficiencia de la red y la precisión media de sus localizaciones. La eficiencia es la probabilidad de que la red detecte y localice un rayo en determinada área de referencia en relación con los que realmente se producen y, la precisión media es el valor medio del error en el posicionamiento de los rayos.

Los fabricantes y algunos operadores de RR disponen de modelos numéricos para simular las características de calidad como herramienta básica de diseño y mantenimiento de las mismas. A continuación se presenta los resultados obtenidos para la evolución seguida por la RR del INM en el periodo 1.992 – 2.002 (ambos inclusive).

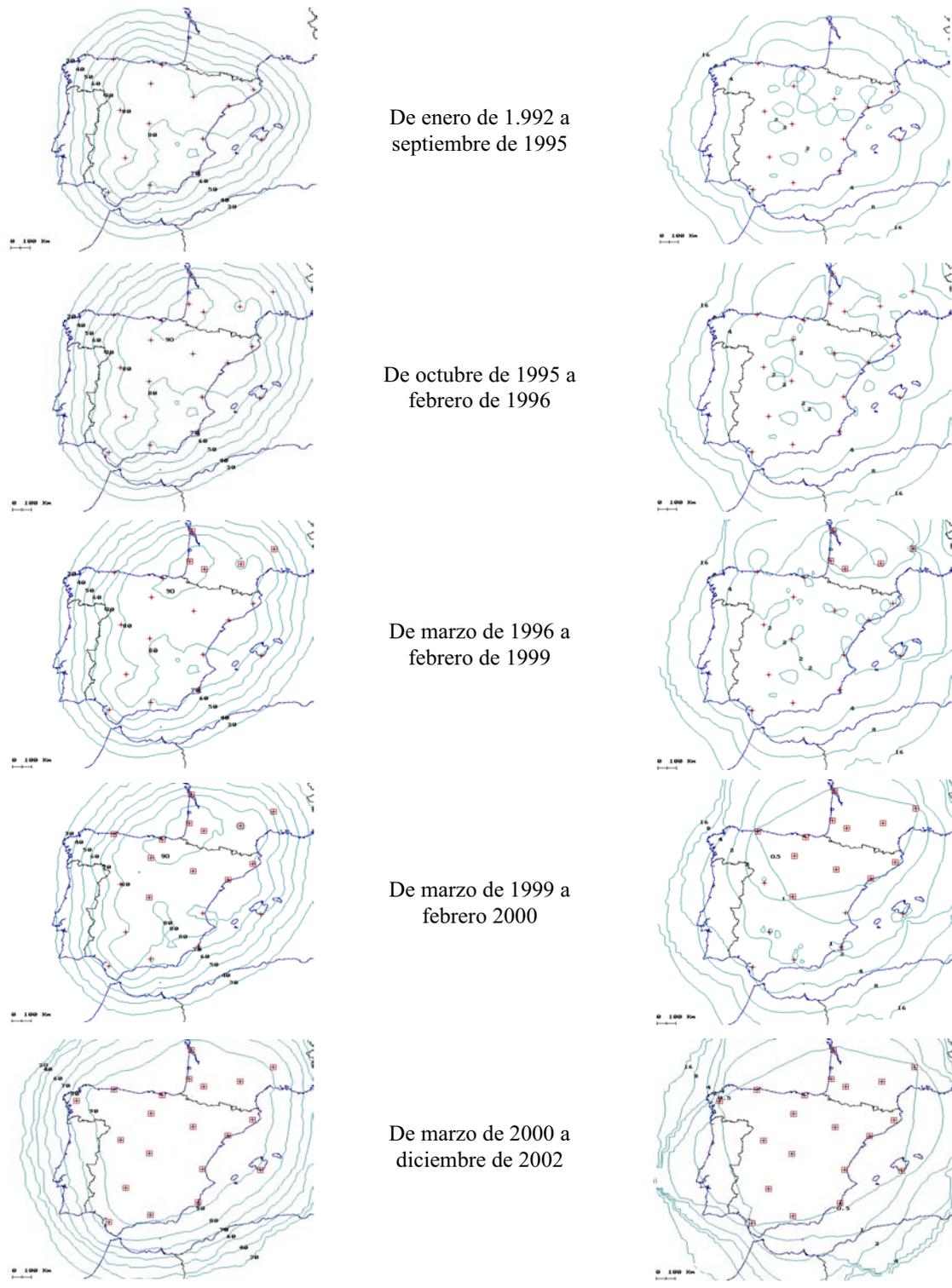


Tabla 2: Estimaciones de la eficiencia (% en la columna de la izquierda) y precisión de la localización de los rayos (en km. a la derecha) para los diferentes periodos de funcionamiento de la RR del INM entre 1.992 y 2.002 (en la columna central). Los símbolos representados por una cruz (+) corresponden a estaciones de tecnología angular (ALDF), y los representados por una cruz recuadrada son los de las estaciones de tecnología temporal GPS. Fuente: Modelo numérico de Vaisala (versión 2.1 – 6/95).

Hay tres periodos especialmente señalados en la evolución de las prestaciones de la RR del INM a lo largo del decenio 1992 – 2002: 1) el inicial sin colaboración internacional y exclusivamente con tecnología angular hasta 1996; 2) el de inicio de la colaboración con Francia hasta 1.999 y; 3) el dedicado a la implantación de la tecnología GPS en la RR del INM hasta 2.002.

El periodo más destacado fue el de inicio de la colaboración internacional con Francia, desde finales de 1.995, redundó inmediatamente en la ampliación espectacular del 40% en el área de cobertura de exploración del fenómenoⁱⁱⁱ tanto dentro como fuera de nuestra red pero sobre todo en el golfo de Vizcaya y en los Pirineos. Además supuso un aumento notable de la eficiencia y una mejora en la precisión de la localización de rayos en el nordeste peninsular como claramente se refleja en la cartografía adjunta.

Otro hito en la evolución técnica de la RR del INM lo supuso la implantación de la tecnología GPS en el análisis de la señal de detección y en la metodología de localización de las descargas que repercutió en la obtención de una precisión real temporal del orden del microsegundo y, en definitiva, en una precisión en la localización de las descargas inferior al kilómetro en la mayor parte de la cobertura interna.

Analogías y diferencias entre las redes

Para la realización de las simulaciones expuestas en la tabla 2 se tuvieron en cuenta una serie de características técnicas consideradas comunes a todas las estaciones de la red. A saber: desviación estándar de los errores aleatorios angulares de 0.9°, errores temporales de 1.5 microsegundos, umbral de sensibilidad de antenas de 100 milivoltios, ganancia idéntica para todas las estaciones, intensidad mínima de las descargas detectables de 5 kiloamperios, grado de confianza de la elipse de error al 50%,.. etc.

Sin embargo, algunas de estas características consideradas comunes no han sido tales, ni se han mantenido inmutables a lo largo de todo el período 1.992- 2.002 y han ido evolucionando de acuerdo al interés del operador y a las condiciones del entorno radioeléctrico en las proximidad de las estaciones. Este es el caso del valor considerado para la desviación estándar de los errores angulares que como ya se mencionó ha ido empeorando paulatinamente desde las condiciones iniciales aquí consideradas como referencia. Se modificó también el umbral de sensibilidad de las antenas en el segmento propiedad del INM en 1996 (de 100 mV. pasó a 75 mV.) para mejorar la cobertura y calidad de los productos de la RR tanto fuera como dentro de nuestras fronteras y homogeneizarla operativamente respecto a las estaciones propiedad de Meteo France. Todas estas modificaciones que fundamentalmente se dieron una vez iniciada la colaboración con la red francesa repercuten en las características esperables de los indicadores de calidad considerados anteriormente.

A partir de enero de 2003 comenzó el intercambio operativo en tiempo real de la información entre la RR de España y la de Portugal. Las estaciones utilizadas por Portugal son IMPACT ESP (véase la tabla 1) de tecnología combinada (disponen de radiogoniómetro y reloj satelital GPS) semejantes a las utilizadas por el INM desde 1999 y Meteo France desde 1996. Se trata del modelo más avanzado de estaciones IMPACT que ha comercializado el fabricante VAISALA hasta el momento y, por tanto, son la evolución natural de los modelos anteriores desplegados en Francia y España.

A pesar de la compatibilidad operacional de los modelos de estaciones IMPACT las diferencias de los nuevos sensores que incorporan son significativas en cuanto a las capacidades de detección. Las mejoras de la tercera generación de IMPACT que lleva la red portuguesa son principalmente^{iv}: la redefinición de umbral referencia de sensibilidad, la modificación del algoritmo lógico de reconocimiento de descargas, la reducción en más de un 90% del tiempo no operativo entre descargas, ...etc. Esto redundará en que las estaciones portuguesas detectan además de las descargas entre el suelo y la nube aquellas otras que se producen en la atmósfera sin intervención de la superficie terrestre. Este hecho supone adicionalmente una ampliación de las capacidades de observación y del volumen de datos que circula por las redes y que deben pasar por tratamientos de calidad, de cálculo y posterior archivo. Además, mejora la cobertura de observación y el alcance del fenómeno, se elimina la confusión en la identificación de descargas positivas poco intensas entre nube y tierra, y; por tanto, se altera sustancialmente el diagrama de eficiencia del modelo IMPACT ESP frente a la distancia respecto a los modelos anteriores (como ya ocurrió con ellos respecto a los que les precedieron).

La adaptación de la configuración de la red del INM con la nueva cooperación portuguesa está suponiendo un nuevo hito y se está produciendo en la medida de lo posible a través de pruebas y ensayos efectuados a lo largo del 2003 cuyos efectos están aún por evaluar en algunos casos. Sin embargo, se ha podido constatar una mejora significativa en la precisión de las descargas en el oeste y noroeste peninsular, así como un aumento de la cobertura en la vertiente Atlántica semejante al que supuso el inicio de la colaboración con Francia así como un espectacular aumento del alcance de exploración en el espacio oceánico entre Azores, Madeira y la península.

Tras una larga campaña inicial de recogida de datos para su calibración e incorporación operativa integral a la red del INM, el objetivo ha sido no sólo buscar la optimización en el aprovechamiento de las nuevas capacidades sino el ensayo de metodologías de localización de descargas de mayor alcance para anticipar las posibles contingencias en la próxima ampliación de la red del INM en las Islas Canarias cuyo inicio se prevé para el segundo semestre del 2004.

Como se señaló anteriormente la configuración de las estaciones de detección es potestad de cada propietario y se mantienen características diferenciales esenciales que influyen en las capacidades del conjunto desviándose algunas proyecciones significativamente del resultado anteriormente presentado. Por este motivo se realizaron nuevas proyecciones con la herramienta "Network Monitoring" de CATS versión 4.5 ("Computer Aids Thunderstorm Surveillance" es una herramienta desarrollada por METEORAGE; tradicional operador de la red de rayos francesa propiedad de METEO FRANCE) que se muestran en la tabla número 3, teniendo en cuenta un umbral de mayor sensibilidad en las antenas (75 milivoltios) que es el realmente utilizado en el 80% de los casos actualmente (con excepción de las estaciones portuguesas que se mantienen en 100 milivoltios).

Verificación de las estimaciones y proyecciones

La precisión media en la localización de las descargas y la eficiencia real de la red de detección de rayos dependen de multitud de factores que discutiremos brevemente en los siguientes párrafos. Por tanto, es obligada la comprobación de las expectativas sobre

las características de calidad que nos proporcionan los diferentes modelos de simulación. Sin embargo, para alcanzar este propósito hay un obstáculo insalvable: la eficiencia real no es posible medirla con la propia red.

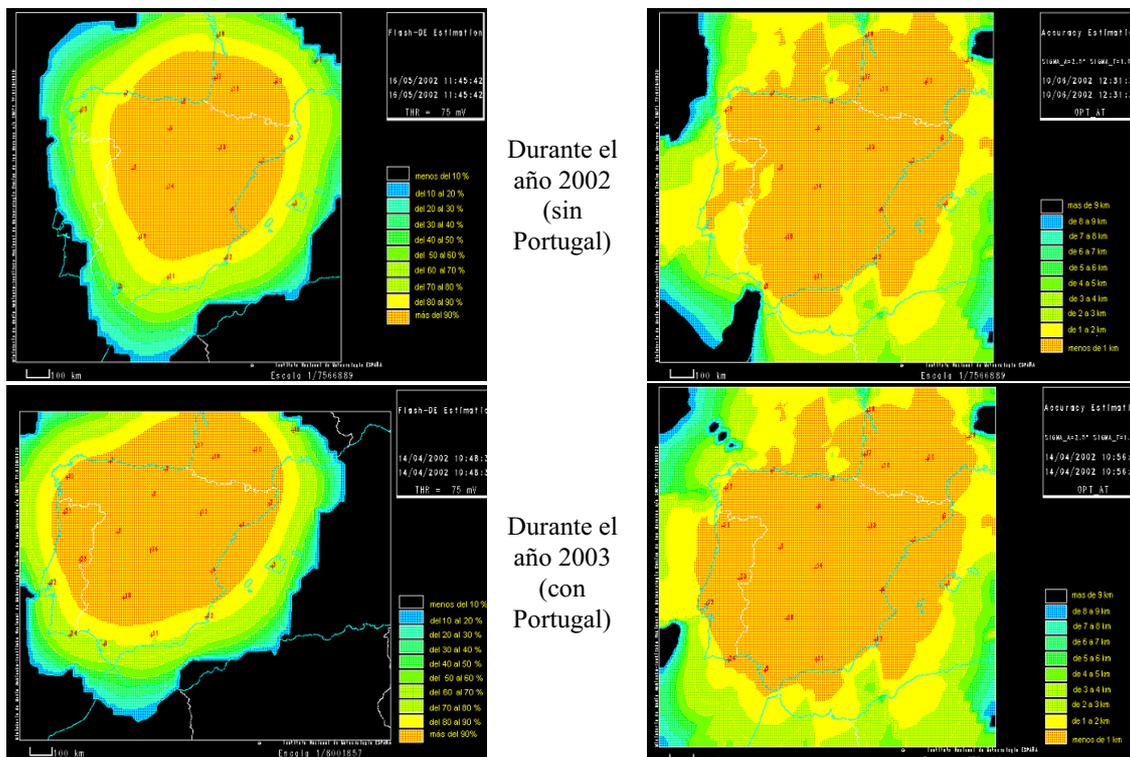


Tabla 3: Estimaciones de la eficiencia (% en la columna de la izquierda) y precisión de la localización de los rayos (en kilómetros a la derecha) de la red de rayos del INM antes y después del inicio del intercambio operativo entre el Instituto Meteorológico de Portugal y el de España (en la columna central).

Aunque las experiencias de verificación de las estimas de eficiencia son escasas entre los operadores de redes^v, ha habido en Europa, Norteamérica y Asia un número suficiente de experimentos que corroboran la bondad de estos modelos aquí utilizados comparando los resultados de localización de descargas de las redes con los obtenidos por sistemas alternativos de captación y análisis de descargas en torres de alta tensión o de comunicaciones.

En ausencia de campañas de verificación de la eficiencia de detección la RR del INM mostramos la representación de una magnitud directamente relacionada con ella. Se trata de la evaluación del número medio de estaciones que han intervenido en la localización de una descarga. Es frecuente^{vi} ofrecer este tipo de representación para aproximarse a la eficiencia del sistema en su conjunto teniendo en cuenta que a mayor número de estaciones interviniendo mayor eficiencia tendrá la red.

Los indicadores de calidad aquí discutidos están afectados por factores operacionales ajenos al propio sistema de medida. El más importante de estos factores operacionales es la disponibilidad de los sistemas que intercomunican las estaciones con el sistema central de concentración y cálculo que en ocasiones, bien por incomunicación real o

deficiencia en la misma, llevan a minimizar la eficiencia relativa de algunos sensores en el contexto de red en que trabajan.

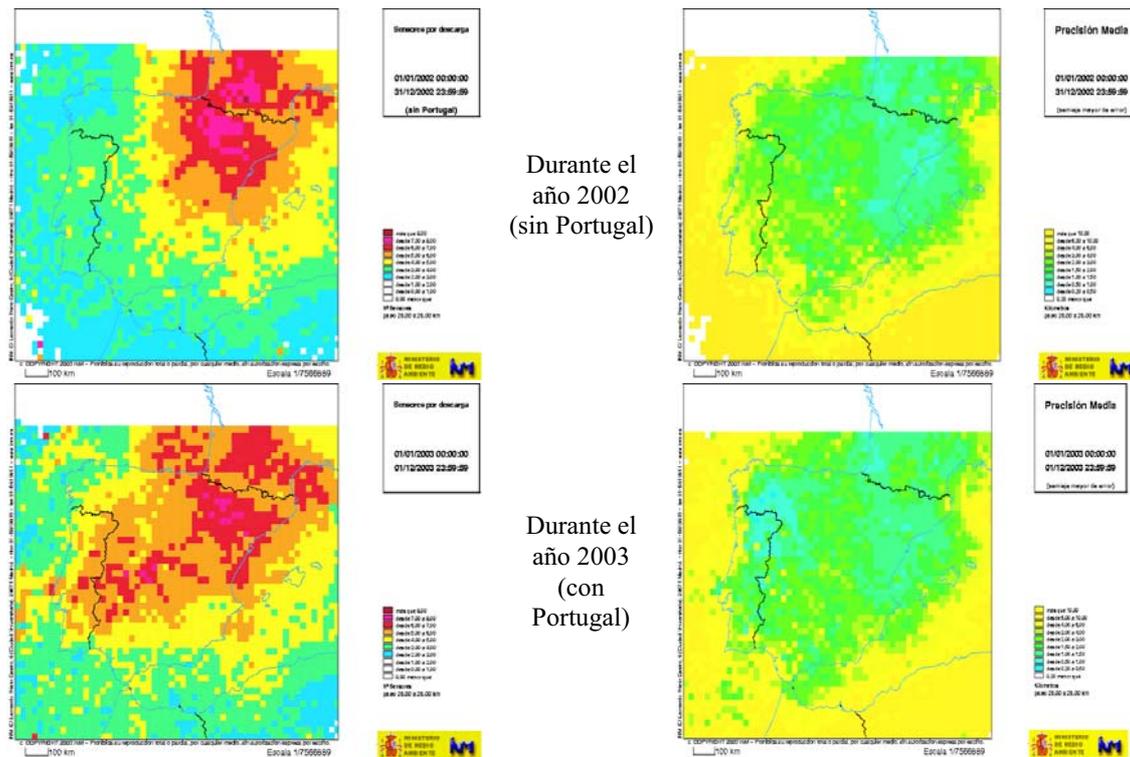


Tabla 4: Evaluación del número medio de sensores que intervienen en la localización de una descarga (columna de la izquierda) y precisión media observada en la localización de los rayos (en km. a la derecha) de la red de rayos del INM antes y después del inicio del intercambio operativo entre el Instituto Meteorológico de Portugal y el de España (en la columna central).

Los niveles de calidad están muy influidos también por el deterioro de las instalaciones debido al fuerte incremento de las impedancias en los anclajes de tierra de las antenas. La modificación radioeléctrica del medio que rodea a las estaciones de detección es también importante a pesar de que la mayoría se sitúan en entornos radioeléctricos protegidos por servidumbres aeronáuticas. Todo esto produce una importante reducción de la sensibilidad de las estaciones afectadas que redundará en la pérdida de prestaciones finales del conjunto.

Por último, hay factores de orden técnico y de configuración del propio sistema de detección que influyen en la calidad final de los productos de las redes. Entre estos últimos se encuentran algunos dependientes del propio sistema de detección: la diferente tecnología de la estación, la distinta sensibilidad de operación, la ganancia de cada estación, ... etc. Otros factores dependen del sistema de concentración y cálculo de localizaciones: el uso de algoritmos de localización que no minimizan las falsas alarmas, o que rechazan detecciones alejadas,....etc.

Las discrepancias existentes entre las estimas y evaluaciones de las características de calidad de la red representadas en las figuras de las tablas 3 y 4 se deben fundamentalmente a factores operacionales adversos acontecidos durante el año 2003 que dejaron prácticamente inoperantes dos estaciones (Villafría e Hinojosa) y a la evolución negativa de las cualidades electromagnéticas de los emplazamientos de la red

del INM. Son menores las discrepancias entre la realidad y las estimas imputables a configuración incorrecta de los sistemas de detección y/o cálculo de la localización de las descargas atmosféricas al menos en el período de análisis aquí considerado.

Proyecto de Red de Detección de Rayos de las Islas de Macaronesia

La ampliación de la red del INM a las Islas Canarias tiene como objetivo el proporcionar el servicio de vigilancia y exploración de tormentas en la Comunidad Canaria. Ha sido diseñada desde la perspectiva de la colaboración internacional para minimización de costes y optimización de las capacidades individuales de observación de estos fenómenos violentos en las extensas áreas marítimas y aéreas de responsabilidad peninsular. En este sentido el grupo formado por el Instituto Tecnológico de Canarias, el Instituto Meteorológico de Portugal y el Instituto Nacional de Meteorología obtuvieron un espaldarazo importante del fondo de la Unión Europea para las regiones ultraperiféricas INTERREGIII B con la aprobación del proyecto REDRIM. El objetivo básico de este proyecto es la definición de una RR en los archipiélagos de Azores, Canarias y Madeira así como la mencionada implantación de una red en el archipiélago Canario antes de junio de 2.005.

Al proyecto REDRIM, actualmente en marcha y en fase preparatoria del despliegue de 5 estaciones de detección en las Islas Canarias, se le ha añadido otra candidatura presentada por el grupo anteriormente mencionado para extender los actuales compromisos de despliegue y la cobertura oceánica de la RR de España y de Portugal a Madeira y Azores en los ejercicios siguientes.

Las distancias a que se situarían las futuras estaciones de detección del despliegue REDRIM respecto a la península Ibérica nos obliga a buscar soluciones sobre la metodología de detección y localización de descargas eléctricas en los grandes espacios oceánicos intermedios que faciliten el seguimiento del fenómeno con las máximas prestaciones para los dispositivos de vigilancia meteorológica nacional e internacional así como la mínima penalización en cuanto a las características de calidad de las localizaciones peninsulares e intrainsulares.

Se han desarrollado algunas experiencias internacionales en el último decenio contando incluso con la aportación de datos de la RR del INM^{vii} que condujeron al desarrollo de algoritmos específicos para localización a grandes distancias. Según algunos de estos experimentos^{viii}, es posible esperar resultados aceptables en el interior de unos límites de distancia respecto a las redes con continentales de unos 2000 kilómetros de día y unos 4000 de noche debido a la influencia ionosférica en la propagación de la señal bastante mejores que los requerimientos planeados^{ix} para las futuras plataformas de observación desde satélite a desplegar a largo plazo .

Las evaluaciones preliminares del despliegue Atlántico inicial que supone el proyecto REDRIM han contemplado varios supuestos de los cuales se presentan aquí los dos más importantes caracterizados inicialmente por el despliegue de tecnología de detección idéntica a la actualmente disponible en el INM (IMPACT ES) en un contexto de posible mejora del umbral de sensibilidad en un 20% respecto al actual. Estas expectativas se fundamentan en la posibilidad de conseguir emplazamientos con mejores cualidades E instalaciones electromagnéticas que conserven las sensibilidades de escucha de las antenas. El primer escenario aquí contemplado corresponde a la hipótesis de mínimo

despliegue técnicamente necesario sin adaptación de los equipos peninsulares para conseguir una cobertura continua en el pasillo oceánico entre Canarias y la península Ibérica. El segundo escenario responde a una hipótesis austera en el despliegue con las mismas condiciones técnicas y de sensibilidad pero añadiendo la colaboración portuguesa a través de una estación más en Madeira.

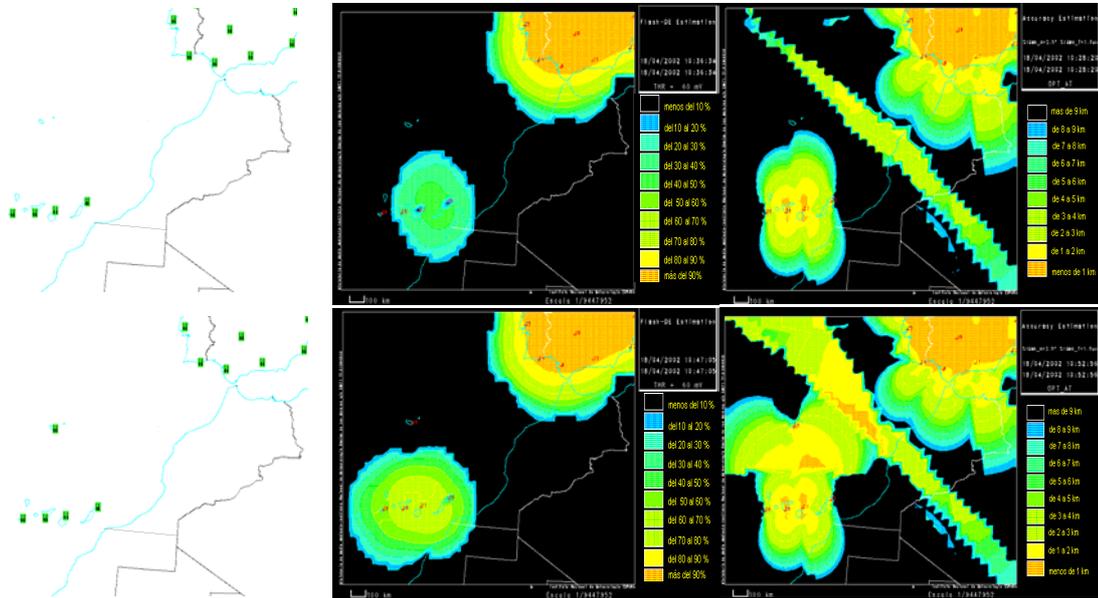


Tabla 4: Supuestos inicialmente valorados por el INM (columna de la izquierda) para la extensión de la red de rayos a Canarias sin colaboración internacional y con la del IMP en la fila superior e inferior respectivamente. Las proyecciones de eficiencia (%) se sitúan en la columna del centro y la estima de la precisión de la localización de los rayos (en kilómetros) en la columna de la derecha.

Por último se presentan las proyecciones elaboradas por VAISALA utilizando en las futuras estaciones IMPACT sensores de última generación dotados de más amplio espectro de observación y sin incorporar ninguna adaptación en el segmento de detección peninsular.

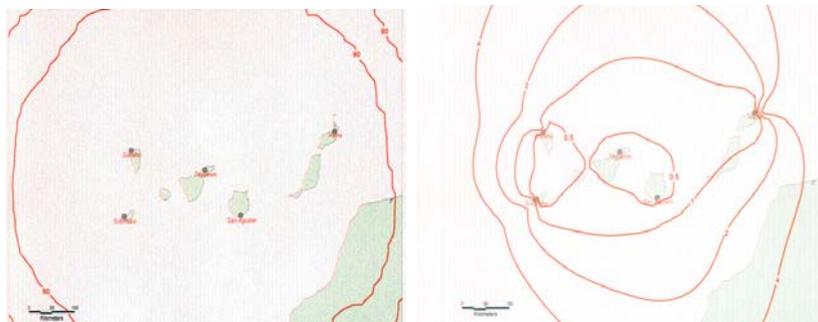
La primera proyección recoge las características locales de calidad de la red en Canarias con el uso de 5 estaciones para el 2005 en un supuesto de mayor fiabilidad por su menor vulnerabilidad ante contingencias operacionales indeseadas pero en muchos casos ineludibles (fallos de comunicación, períodos de mantenimiento y reparación, ..etc); y, en segundo lugar, la perspectiva conjunta de la zona geográfica del NW de Africa si se materializase una colaboración con el Instituto Meteorológico de Marruecos semejante a las mantenidas con Portugal y Francia una vez finalizada la instalación de su propia red actualmente en marcha.

Conclusiones

Una vez que se finalice el despliegue de la RR en el archipiélago Canario el INM se habrá convertido en el principal operador europeo atendiendo al número de estaciones de detección de su propiedad y a la superficie de cobertura propia dedicada al dispositivo de vigilancia y exploración radioeléctrica. Se habrá emprendido la adaptación del segmento de detección peninsular para conseguir la máxima ganancia de

la red y la homogeneización de sus capacidades con respecto a los sensores Portugueses y los nuevos recién instalados en Canarias y se habrán aumentado los socios de la imprescindible colaboración multinacional para hacer realidad la cobertura intercontinental del océano Atlántico norte.

Proyecciones más probables para el próximo despliegue REDRIM en Canarias



Proyecciones conjuntas más probables para el despliegue en Marruecos y las Islas Canarias

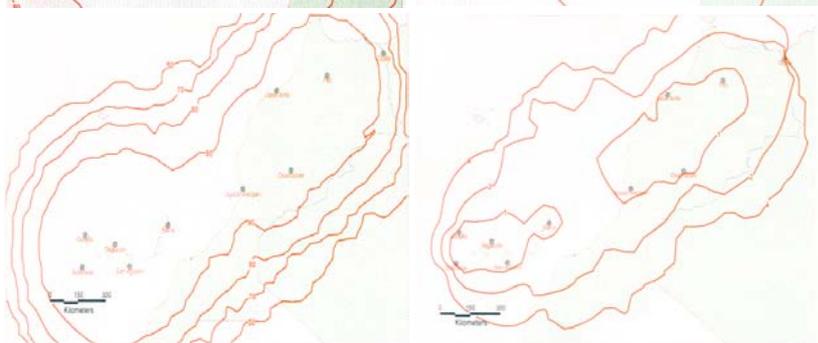


Tabla 6: : Características de calidad más probables de la ampliación prevista para el año 2005. En la primera fila las Islas Canarias con cinco estaciones IMPACT ESP; y, en la siguiente fila, se muestra el contexto de posible colaboración con el Instituto Meteorológico de Marruecos cuya red está en instalación (proporcionado por el modelo de Vaisala).

Referencias:

- ⁱ López, Raúl E. y Passi Ranjit M. “*Simulations in site error estimation for direction finders*”. Journal of geophysical research, vol. 96. 1.991.
- ⁱⁱ Pedebay, Stephane. “*The Western European Maritime Lightning Location System (WELLS)*”. European Lightning Detection Workshop 2003. Oslo.
- ⁱⁱⁱ Pérez Puebla, Francisco. “*Spanish National Lightning Detection Network*”. European Lightning Detection Workshop 2003. Oslo.
- ^{iv} Murphy, Martin; Pifer, Albut; Cummins, Kenneth; Pyle, Richard and Cramer, John. “*The 2002 upgrade of the U.S. NLDN*” (Northamericam Lightning Detection Network). International Lightning Detection Conference (ILDC) 2.002. Tucson. Arizona.
- ^v Diendorfer G., Schulz W. and Mair M. “*Evaluation of a Lightining Location System based on lightning strikes to an instrumented tower*”. Austrian Lightning Detection and Information System (ALDIS) and Central Institute for Meteorology and Geodynamics (CIMG). ILDC 2.000. Tucson. Arizona.
- ^{vi} Murphy, Martin et all. “*The 2002 upgrade of the U.S. NLDN*” (Norhamericam Lightning Detection Network). ILDC 2.002. Tucson. Arizona.
- ^{vii} Cramer, J.A; Cummins, Kenneth L. “*Longe Range and trans-oceanic lightning detection*”. 11 International Conference of Atmosferic Electricity. Guntersville, Alabama. Junio.1999.
- ^{viii} Nierow, Alan; Showalter, Robert; Mosher, Fred; Jalicke, John and Cummins Kenneth. “*Preliminary evaluations of using lightning data to improve oceanic convective forecasting for aviation*”. 16 International Conference on Interactive Information and Processing Systems for Meteorology, Oceanography and Hydrology. American Meteorological Sociaty. 2003.
- ^{ix} Chauzy, Serge; Coquillat, Sylvain y Soula, Serge. « *On relevance of lightning imagery from Geostationary satellite observation for operational meteorological applications*”. Laboratoire d’Aéologie, UMR UPS/CNRS n° 5560. Ref EUMETSAT : EUM/COL/LET/02/642.