

## **BENEFICIOS DE LA COOPERACIÓN AL DESARROLLO DE LA AGENCIA: EL PROGRAMA AFRIMET**

*Delia Gutiérrez Rubio, AEMET*  
*Irene Sanz Zoydo, AEMET*  
*José Luis Camacho Ruiz, OMM*  
*Luis Fernando López Cotín, AEMET*

La meteorología es un campo que necesariamente requiere de la cooperación internacional para su desarrollo, y para la prestación de servicios a la sociedad: la atmósfera no entiende de fronteras, y resulta imprescindible que los datos de observaciones meteorológicas sean rápidamente compartidos a escala global, los costosos modelos numéricos para el análisis y la predicción del tiempo y los equipos de observación satelital deben ser desarrollados y sostenidos en el ámbito internacional, y, en consecuencia, la organización más allá de las fronteras para la gestión del conocimiento y de los servicios es un imperativo y una tradición en el mundo de la meteorología. Dicho de otra forma, la «globalización» llegó a la meteorología desde sus inicios.

En este contexto, AEMET participa activamente en la Organización Meteorológica Mundial (OMM) de las Naciones Unidas, y en todas las organizaciones internacionales a nivel europeo, como el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo, puntero en el desarrollo de modelos numéricos a escala global, la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos, responsable del satélite Meteosat entre otros, y otras muchas.

Pero también en otros ámbitos, AEMET ha promovido la cooperación técnica a distintas escalas: de modo bilateral, con países vecinos como Portugal y Marruecos; en áreas temáticas, como la investigación de la composición atmosférica; en proyectos regionales, de ámbitos como el mediterráneo, y muy especialmente en Iberoamérica, con una larga y exitosa experiencia a través de la Conferencia de Directores de los Servicios Meteorológicos Iberoamericanos, que posteriormente, alineándonos con la política nacional de refuerzo de las relaciones con los países del oeste africano —el África subsahariana más próxima a nuestro país, cuya presión migratoria no nos es en absoluto ajena—, se tomó como modelo para la creación de la Conferencia de Directores de los Servicios Meteorológicos de África Occidental, AFRIMET.

Conviene recordar, en estos tiempos en que las políticas de cooperación al desarrollo tienden a quedar relegadas, que la cooperación moderna consiste en una asociación entre países, armonizada a través de organismos internacionales, transparente, y exigente de eficacia para todas las partes, que resulta beneficiosa tanto para el donante como para los socios. En el caso de AEMET, sus programas de cooperación, gestionados en el marco de la OMM, son considerados modélicos en el mundo de la cooperación, y han reportado a nuestra Agencia un reconocimiento que ha tenido repercusión en su representatividad en un organismo de la envergadura de la OMM, poniéndola en una posición destacada, y facilitando el acceso de funcionarios españoles a dicha organización de las Naciones Unidas, lo que redundará en una mayor representación de nuestro país en la toma de decisiones.

Los que participamos en los proyectos de cooperación ganamos ricas experiencias humanas y técnicas, valiosas no solo a título personal, sino fundamentalmente de utilidad como empleados de un organismo como nuestra Agencia, que necesariamente tiene que participar en la gestión y el desarrollo de proyectos internacionales para llevar a cabo sus productos y servicios.

### **1. MIRANDO HACIA ÁFRICA: PERSPECTIVA DEL PROGRAMA AFRIMET**

Solo 14 kilómetros separan nuestras costas de las de un continente que no nos es ajeno, con dos ciudades y una comunidad autónomas españolas en territorio africano, AEMET pertenece a las Asociaciones Regionales I (África) y VI (Europa) de la OMM. El programa AFRIMET es el instrumento de AEMET para llevar a cabo cooperación técnica al desarrollo en 16 países del oeste de África mediante el fortalecimiento de sus respectivos Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN), para que puedan contribuir con sus productos y servicios al desarrollo sostenible de estos países.



Figura 1. *Ámbito del programa AFRIMET. Enmarcados en verde los nombres de los 16 países miembros.*

La primera Conferencia de Directores de los SMHN se llevó a cabo en Las Palmas de Gran Canaria en 2007, y en la misma quedó establecido este foro de cooperación, y se establecieron las premisas para su organización, fundamentada en las siguientes bases:

- La cooperación se enmarca en el ámbito de la OMM, mediante el establecimiento en este organismo de las Naciones Unidas de un fondo fiduciario de AEMET gestionado conjuntamente. Se trata de un fondo «semilla» para el inicio de los proyectos, que deberán contar con fuentes de financiación alternativas a largo plazo.
- Son los países, junto con OMM y AEMET, quienes establecen, a través de la conferencia anual de Directores, los objetivos y planes de acción.
- Es objetivo de la Conferencia el facilitar la cooperación horizontal entre los países miembros. Los proyectos piloto se inician en los países seleccionados, poniendo a disposición de la Conferencia los resultados y lecciones aprendidas, de modo que la experiencia se puede extender a largo plazo al resto de la región.

Con estos miembros se han tejido desde 2007 hasta la fecha algunos proyectos que han dado ya sus frutos en distintos ámbitos, como la seguridad del transporte marítimo y la pesca, la agricultura, y la salud, muy cercanos a algunos de los Objetivos de Desarrollo del Milenio establecidos en 2000 por la ONU (<http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/>).

## 2. DESDE LAS ISLAS CANARIAS HASTA EL GOLFO DE GUINEA: EL PROYECTO MARINEMET

En julio de 2009, enmarcado en el programa AFRIMET, se inició el proyecto piloto de meteorología marítima, MARINEMET, con la aprobación de todos los representantes de la Conferencia de Directores. En este proyecto están involucrados cuatro países costeros: Senegal, Gambia, Mauritania y Cabo Verde. Se trata de un proyecto piloto a cuatro años (2009-2013) que tiene como objetivo final la transferencia de tecnología y conocimiento.

Por parte de España, están colaborando con AEMET el Organismo Público Puertos del Estado (OPPE) y la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).

El proyecto puede enmarcarse en tres grandes bloques:

- 1) Transferencia de tecnología (Software):
  - Productos satelitales
  - Modelización oceánica en aguas profundas
  - Modelización oceánica a escala de puerto
- 2) Transferencia de tecnología (Equipamiento):
  - Mareógrafos
  - Estaciones meteorológicas automáticas
  - PC con el software incluido
- 3) Transferencia de conocimiento:
  - a) Documentación:
    - Productos satelitales
    - Modelización oceánica en aguas profundas
    - Modelización oceánica a escala de puerto
  - b) Cursos de formación/capacitación:
    - Formación meteorología marítima en Toulouse
    - Formación meteorología marítima en UK-Met Office
    - Curso especializado de meteorología marítima en Las Palmas
    - Curso usuarios finales en Senegal, Gambia, Mauritania y Cabo Verde
    - Cursos específicos in-situ de mantenimiento y gestión del equipamiento

Los resultados del proyecto pueden consultarse en tiempo real en la dirección del proyecto <http://www.afrimet.org/marinemet/>. Se presentan resultados divididos en dos categorías:

## 1) Modelización

- *De oleaje a escala oceánica*: se utiliza el modelo WAM África forzado con campos de viento a 10 m de altitud procedentes de las pasadas operativas del ECMWF (a 00 h UTC y 12 h UTC). La resolución espacial es de 0,125° y la temporal de 6 horas. Se muestran salidas cada 3 horas con un alcance de predicción de 72 horas de altura de ola significativa y viento en superficie para distintas ventanas: Senegal-Gambia, Mauritania, Cabo Verde y Canarias.

- *De oleaje a escala puerto (Sistema Automático de Predicción del Oleaje, SAPO)*: predicción de oleaje a 72 horas, hora a hora, a escala local, desarrollado específicamente para los puertos y su entorno más próximo. El sistema está basado en el modelo SWAN y tiene en cuenta las transformaciones sufridas por el oleaje al aproximarse a la costa. La salida del WAM África proporciona los datos para las condiciones de contorno de los SAPO con una resolución de 5'. Los resultados se muestran en forma de mapas, gráficas y tablas.

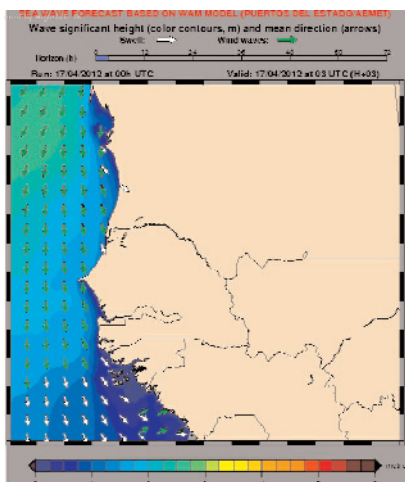


Figura 2. Altura significativa del oleaje (Senegal-Gambia).

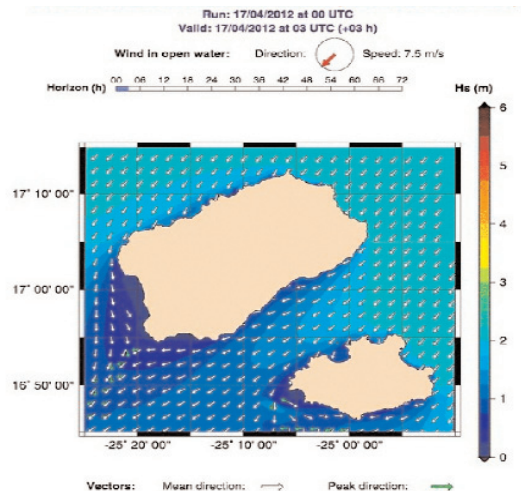


Figura 3. Mapa oleaje puerto de Mindelo (Cabo Verde).

## 2) Observación

- *Productos de teledetección:* a partir de imágenes de teledetección se obtienen salidas de concentración de clorofila, frentes térmicos y temperatura de la superficie del mar.

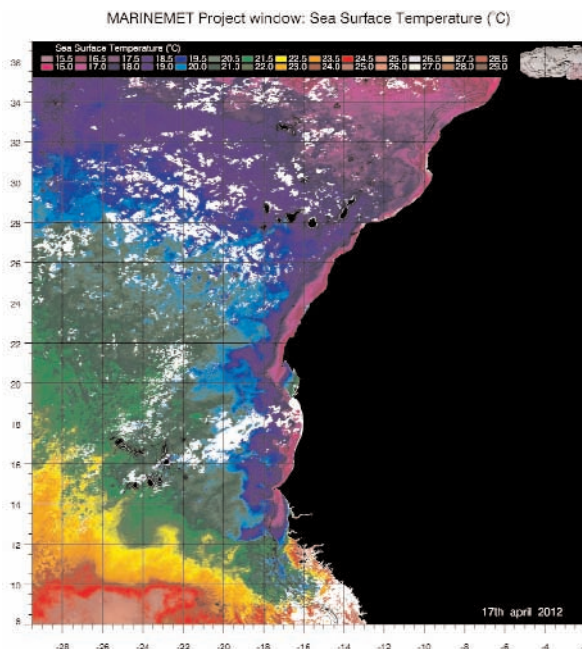


Figura 4. Temperatura superficial del mar (área global del proyecto).

- *Mareógrafos y estaciones automáticas:* se han instalado un total de seis mareógrafos en la región: dos en Senegal, dos en Cabo Verde, uno en Mauritania y uno en Gambia. De estos, hay dos que miden agitación y los otros cuatro son estándar. Estos seis mareógrafos están equipados con sensores meteorológicos de forma que funcionan a su vez como estaciones meteorológicas automáticas. Otras cuatro estaciones meteorológicas han sido instaladas independientemente de los mareógrafos.

## 3. METEOROLOGÍA, PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA: EL PROYECTO METAGRI

El tiempo y el clima figuran entre los principales factores de riesgo que inciden en el rendimiento y la gestión de las explotaciones agrícolas, y esto es especialmente válido en los cultivos de secano que se desarrollan en muchos países en vías de desarrollo. Los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos —tales como las sequías graves, las inundaciones o los choques térmicos— constituyen a menudo un serio obstáculo para el desarrollo de la agricultura sostenible, especialmente en los trópicos y en los subtropicos. Factores como la variabilidad del clima y el cambio climático contribuyen a la vulnerabilidad de las explotaciones agrícolas, así como de comunidades rurales enteras.

El proyecto METAGRI es fruto del requerimiento de la Conferencia de Directores de SMHN de África Occidental en materia de agricultura. Sus objetivos principales son la divulgación de la información meteorológica y climática entre los agricultores, ganaderos y pescadores para mejorar la gestión y el rendimiento de sus actividades y el establecimiento de diálogos y estructuras que permitan el mutuo conocimiento entre meteorólogos y usuarios para mejorar los productos y servicios agrometeorológicos y la utilización que se hace de estos. El proyecto se ha basado en el desarrollo de dos ideas de éxito, principalmente en los países del Sahel.

La primera es el desarrollo de seminarios itinerantes de un día de duración sobre el tiempo y el clima, destinados a los agricultores en diferentes regiones del mundo con el propósito de que estos cobren conciencia de la importancia de la información climática y meteorológica y de sus aplicaciones en la gestión operacional de las explotaciones agrícolas tal y como preconiza la OMM.

La segunda, originada en el SMHN de Mali, es la distribución y empleo de pluviómetros de plástico más sencillos que los pluviómetros profesionales y que permiten a los agricultores obtener una estimación de la humedad del suelo mediante la lectura de la precipitación agregada durante varios días en la época clave de la siembra. Con esta estimación y las previsiones de lluvias para los días siguientes, el pronóstico estacional y la fecha del año, pueden tomar la decisión más adecuada para realizar una siembra efectiva que reduzca al mínimo el riesgo de fracaso y asegure el máximo de rendimiento en la cosecha. Téngase en cuenta que el único aporte de riego que se utiliza es el que da de manera natural la lluvia.

Los agricultores toman nota de la precipitación una o dos veces al día y anotan también los cambios en el estado de la vegetación y la aparición de plagas tales como los pájaros granívoros o ciertos tipos de insectos. Estas observaciones se registran en un cuaderno de observaciones y, en muchos casos, son retransmitidas al SMHN diariamente mediante llamada telefónica o SMS.

La primera fase de METAGRI se realizó entre 2008 y 2009 en cinco países: Mali, Mauritania, Níger, Burkina Faso y Senegal. En la segunda fase entre 2009 y 2010, se añadieron Guinea Bissau, Guinea Conakry, Gambia, Cabo Verde, Benin y Togo además de los anteriores. Finalmente, en la tercera fase, se realizaron seminarios itinerantes en Costa de Marfil, Nigeria, Ghana y Liberia entre 2011 y 2012 además de los otros países. El último país en realizar los seminarios totalizando 11 eventos fue Costa de Marfil debiéndose el retraso a los acontecimientos violentos que tuvieron lugar en dicho país el pasado año. No obstante este hecho, las actividades fueron un completo éxito. En cada seminario se formaba de 30 a 40 agricultores y agentes de extensión agraria repartiéndose entre 10-12 pluviómetros y cuadernos de observación a los que podían ejercer como líderes dentro de sus comunidades.



*Grupo participante en el seminario de Guibéroua en la región de Gagnoa. Pueden observarse las pegatinas de AEMET y de la DMN de Mali ubicadas en los pluviómetros de plástico.*

Los resultados finales de METAGRI muestran que en el transcurso de 159 seminarios itinerantes han recibido formación 7 800 personas (entre ellas 1 000 mujeres), entre agricultores, agentes de extensión agraria y otras personas involucradas en la gestión de la agricultura, ganadería o pesca. Unas 3 000 comunidades rurales han estado representadas y se han repartido 3 325 pluviómetros.

El proyecto ha tenido un impacto muy elevado a diferentes niveles. Los agricultores están muy satisfechos con el incremento de información a su disposición que les permite aumentar su autoestima, mejorar su seguridad alimentaria y mejorar sus ganancias. Los servicios de extensión agraria y organizaciones gubernamentales sobre el terreno disponen también de mejor información para realizar sus cometidos y los servicios meteorológicos disponen de verificaciones de sus predicciones y modelos agrometeorológicos que les permiten mejorar sus servicios. El proyecto produce una sensación de que todos ganan.

A nivel institucional, se consolida el modelo de cooperación interdisciplinaria e interinstitucional que se desarrollaba en los países del Sahel después de las grandes sequías de la década de los 70 y 80. Este modelo se está exportando a los países del golfo de Guinea para mejorar la gestión y la eficacia de las instituciones gubernamentales y la reducción de riesgos en la producción de alimentos. El balance final del proyecto es muy positivo, hay una unánime petición de continuarlo y se agradece a España la inversión realizada que ha totalizado alrededor de un millón de euros.

En la actualidad, la OMM está trabajando en el desarrollo e implementación del proyecto de continuación METAGRI OPERACIONAL. Se están desarrollando ocho seminarios itinerantes en cada uno de los quince países de África Occidental antes citados además de otras actividades de formación, desarrollo de relaciones con medios de comunicación, promoción institucional y desarrollo de herramientas de evaluación. Noruega ha tomado el relevo de España como donante principal, aunque esperamos que esta última pueda participar en alguna de las actividades de METAGRI OPS, como es conocido coloquialmente.

#### 4. CUANDO LAS EPIDEMIAS LAS MUEVE EL VIENTO: EL PROYECTO HEALTHMET

La malaria o paludismo, junto con las infecciones respiratorias y las diarreas, son, después del SIDA, las enfermedades que causan mayor mortalidad en África (datos de la OMS de 2008). Ninguna de estas tres enfermedades es ajena a factores meteorológicos (temperatura y humedad, precipitaciones, contenido en aerosoles del aire...) que pueden determinar su propagación. La región subsahariana es además azotada cada año en mayor o menor medida por epidemias de meningitis cerebro-espinal, con altas tasas de mortalidad. Numerosos estudios científicos apuntan a una relación entre estos episodios —que ocurren en ciclos estacionales, y decaen con la llegada de las lluvias— y el contenido de polvo en suspensión en el aire, asociado al viento del desierto denominado Harmattan, propio de la estación seca y cálida. Otras epidemias, como la fiebre del valle del Rift, que afecta a la ganadería de la región, son igualmente sensibles a los factores meteorológicos, pues, como la malaria, la transmite un mosquito, que prolifera en ciertas condiciones de temperatura y humedad.

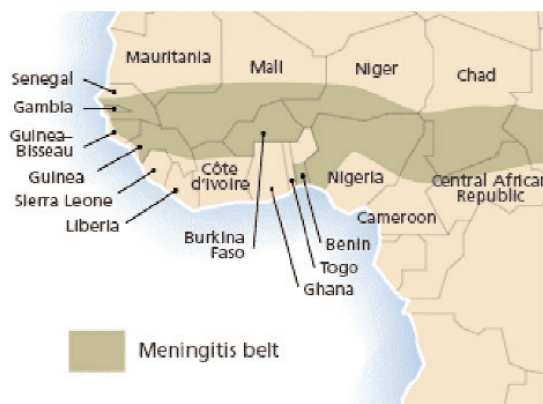


Figura 5. Cinturón de la meningitis (fuente: OMS).



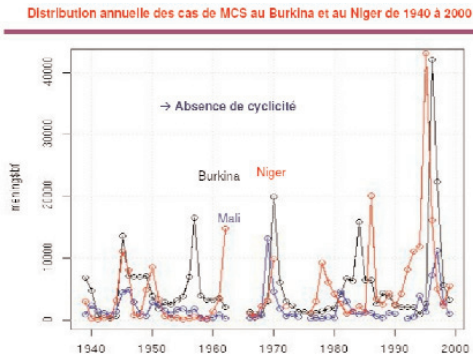
Figura 6. Mosquito *Anopheles*, transmisor de la malaria.

En este contexto, HEALTHMET es un proyecto piloto destinado a aplicar en el África Occidental una experiencia previa de la OMM en Etiopía y Madagascar orientada a reforzar los vínculos entre los servicios meteorológicos y sanitarios, y a mejorar sus capacidades para la toma de decisiones

relacionadas con la prevención y el tratamiento de estas enfermedades, particularmente de la malaria y la meningitis.

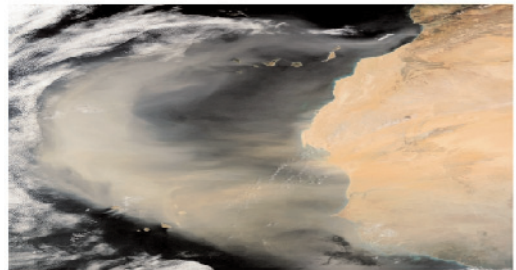
Tras la celebración en 2009 en Niamey (Níger) de un taller de trabajo para el establecimiento del proyecto, la Conferencia de Directores aprobó en 2010 la puesta en marcha del mismo en cinco países, Mauritania, Burkina Faso, Níger, Mali y Nigeria, mediante la creación en cada uno de ellos de un Grupo de Trabajo Clima-Salud, con el apoyo de AEMET y la OMM y de un experto regional burkinabés.

En una primera etapa, el proyecto se centró en facilitar la formación de expertos a nivel nacional, en colaboración con el *International Research Institute for Climate and Society (IRI)*, y con el Centro Regional para el Norte de África, Medio-Este y Europa del sistema SDS\_WAS (*Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System*) de la OMM, con sede en Barcelona.



**Figura 7.** Distribución anual de los casos de meningitis cerebro-espinal en Burkina Faso y Níger (1940-2000). Fuente: Pascal Yaka, experto regional HEALTHMET.

## North Africa dust outbreak Examples (March 2004)



**Figura 8.** Presentación de Raquel Gonsalves (Cabo Verde), curso formativo SDS-WAS 2011.

Posteriormente, en 2011, se han celebrado los talleres para la creación de los grupos de trabajo nacionales en Mauritania y Burkina Faso. Gradualmente, el lanzamiento de estos grupos de trabajo irá extendiéndose al resto de países participantes en el proyecto, con idea de que la experiencia previa en cada caso pueda ser aprovechada. Simultáneamente, AFRIMET continúa facilitando formación en este campo al resto de países miembros del programa, en colaboración con el Centro Regional SDS-WAS de Barcelona, pues en el espíritu del programa AFRIMET está que las experiencias piloto en algunos países miembros puedan ser extendidas a largo plazo a toda la región.

El resultado de estos talleres de creación de los grupos nacionales es la constitución del Grupo de Trabajo Clima-Salud nacional, la definición de los Términos de Referencia, y la aprobación de un Plan de Trabajo anual. Los documentos fruto de estos talleres se encuentran disponibles en el archivo del sitio web de la Conferencia de Directores, [www.afrimet.org](http://www.afrimet.org).



Nombre	Descripción	Fecha	Acción	tipo
prediction_evaluation_meningococcal_meningitis_epidemic_burkina_faso_and_niger_2012_f20120322_124538.pdf	PREDICTION OF THE TENDANCE OF THE INCIDENCE OF MENINGITIS BURKINA FASO AND NIGER 2012	02/03/2012	HEALTHMET	MEMORANDUM
prediction_evaluation_epidemic_meningitis_in_burkina_faso_and_niger_2012_f20120322_124515.pdf	PREDICTION DE LA TENDANCE DE L'INCIDENCE DE LA MENINGITE CEREBRO-SPINALE AU B...	02/03/2012	HEALTHMET	MEMORANDUM
Rapport atelier GNTCS Burkina Faso-20120200-125032.pdf	Rapport atelier lancement GNTCS Burkina Faso	08/02/2012	HEALTHMET	MGT-RPT (Resp)

**Figura 9.** Sitio web de la Conferencia de Directores, [www.afrimet.org](http://www.afrimet.org).

La aportación del programa AFRIMET es un «fondo semilla» orientado a la creación de capacidad y al lanzamiento del proyecto; posteriormente, los grupos de trabajo, con el apoyo de AEMET y de la OMM, deben contemplar actividades de movilización de recursos, dirigidas a obtener financiación para la continuación del proyecto. Algunos de los resultados esperados a largo plazo son la creación de una base de datos clima-salud que favorezca la realización de estudios, la emisión de boletines informativos para las autoridades y partes interesadas, y la generación de predicciones y alertas.

## **5. NUEVAS ESTRATEGIAS PARA ASEGURAR LA SOSTENIBILIDAD DE LA COOPERACIÓN AL DESARROLLO**

Desde la primera Conferencia de Directores de los servicios meteorológicos de África Occidental, que tuvo lugar en Las Palmas, 2007, ha habido ya un largo recorrido del programa AFRIMET. Finalizado con éxito el proyecto piloto orientado a la agricultura, estando muy próximo a concluir el correspondiente a la seguridad marítima y costera, y consolidada la puesta en marcha del orientado a mejorar los sistemas de alerta y gestión sanitaria, cabría pensar que cuando se alcancen todos los objetivos de los proyectos más destacados de AFRIMET se podría cerrar una etapa de colaboración fructífera, pero también efímera.

Nada más lejos de la realidad, nuestro desafío es hacer de AFRIMET el foro de discusión que analice de manera periódica el estado de los servicios meteorológicos nacionales, de sus avances y sus carencias, y que sea capaz de materializar estos proyectos al desarrollo con diversas fuentes de financiamiento, no solo con el actual fondo fiduciario de España. Solo de esta manera conseguiremos hacer de la cooperación al desarrollo una actividad sostenible en el tiempo.

Algunos pasos para lograr este nuevo desafío ya están dados. El primero se dio en Banjul (Gambia), 2010. Entonces los socios de AFRIMET acordaron un plan básico basado en líneas de acción que organizan las actividades a llevar a cabo en los próximos años:

### *Línea 1. Creación de capacidades en actividades esenciales técnicas de los SMN*

- 1.1. Mejora de la red regional de telecomunicación.
- 1.2. Formación profesional en la interpretación y uso de los productos satelitales, en cooperación con EUMETSAT.
- 1.3. Creación de capacidades para la vigilancia y elaboración de informes relativos al cambio climático.
- 1.4. Formación profesional en predicción numérica del tiempo.

### *Línea 2. Creación de capacidades para el desarrollo de proyectos meteorológicos aplicados*

- 2.1. MARINEMET, orientado a la seguridad marítima y costera.
- 2.2. METAGRI OPERATIONAL, orientado a promover la seguridad alimentaria.
- 2.3. HEALTHMET, orientado a la gestión de la información meteorológica para la mejora de la seguridad sanitaria.

### *Línea 3. Creación de capacidades de gestión, movilización de recursos y otras actividades*

- 3.1. EMERMET, soporte básico a los países provenientes de conflictos y desastres naturales.
- 3.2. Estudio de factibilidad para la creación de un servicio operacional de meteorología marítima en África del Oeste.
- 3.3. Estudio de factibilidad de un foro virtual a escala subregional sobre avisos hidrometeorológicos.
- 3.4. Creación de capacidades para la consolidación de planes estratégicos.
- 3.5. Programa de becas de formación profesional.
- 3.6. Contribución a la formación profesional en meteorología (a distancia).
- 3.7. Promoción y visibilidad del programa a través de [www.afrimet.org](http://www.afrimet.org).
- 3.8. Otros apoyos puntuales.

Algunas actividades están en marcha, otras son iniciativas que se podrán llevar a cabo en un futuro próximo, y todas ellas revisables bajo el principio básico de modelo de cooperación planteado por AEMET.





Figura 10. El sitio web del programa, [www.afrimet.es](http://www.afrimet.es).



Figura 11. El modelo de gestión de AFRIMET.

El segundo paso dado es la coordinación con OMM sobre el modo de financiar algunas de las actividades ya definidas en el plan de Sal 2011, siendo así que la aplicación de fondos adicionales es ya una realidad. Esto permite afrontar nuevas actividades con los fondos remanentes y afrontar el futuro con tranquilidad.

El tercer paso, el que sin duda tiene mayor trascendencia, es facilitar la contribución del potencial humano de AEMET, con su experiencia, capacidades técnicas, de gestión y de formación, y ponerla al servicio de esta idea que representa la cooperación al desarrollo. De este modo, en la contribución de AEMET al programa irán ganando peso los valores de transferencia de capacidades basada en nuestros propios recursos, lo que representa un valor añadido de calidad al soporte económico que se presta a las actividades AFRIMET.

# RESISTIENDO EXTREMOS: LOS ÁRBOLES MÁS INCREÍBLES DE LA TIERRA

Carlos Cano Barbacil  
(Universidad Rey Juan Carlos)

Javier Cano Sánchez  
(AEMET)

## 1. INTRODUCCIÓN

El término árbol hace referencia al de una planta perenne (que vive más de dos años), con tallo leñoso, del que salen las ramas a una cierta altura del suelo y que presenta una mayor longevidad que otros tipos de plantas. Para diferenciarlo de un arbusto ha de superar un determinado límite en su madurez, generalmente los dos metros de altura y un diámetro mínimo en el tronco establecido en diez centímetros.

Podemos encontrar árboles por todo el planeta excepto en las regiones polares, en la tundra, en las montañas con clima alpino, en las islas expuestas a fuertes vientos, en los desiertos más secos y en lugares donde la naturaleza del suelo no permite su desarrollo, debido a su alta acidez o salinidad, porque se encuentran saturados de agua o por causa de localizarse en áreas con exposiciones geotérmicas, como volcanes y géiseres.

La diversidad de especies de árboles varía enormemente con la latitud. Las regiones tropicales son particularmente ricas, pues hay miles de especies de árboles; incluso, es posible encontrar en una sola hectárea de bosque tropical lluvioso más especies que en todo el continente europeo. En las zonas de latitudes medias, donde prosperan los bosques templados de coníferas, planifolios o mixtos, presentan claramente una menor diversidad de especies que en el ecuador. En las regiones de mayor latitud, principalmente en el hemisferio norte, porque en el sur apenas hay masas de tierra, el bosque boreal o taiga viene caracterizado por extensas formaciones de coníferas con muy pocas especies, incluso algunos de estos bosques primitivos son monoespecíficos, a pesar de ser la mayor masa forestal del planeta.

A medida que aumentan la altitud, la sequedad, la exposición al viento o la latitud, el bosque empieza a ralearse, hasta que llega un momento que la densidad de árboles es ínfima y desaparecen. Esa raya imaginaria que pueden alcanzar los árboles es conocida con el nombre de *línea de árboles*, y marca el límite del hábitat en el que los árboles son capaces de crecer. Más allá de esa línea, las inadecuadas condiciones ecológicas y climáticas no permiten el crecimiento, ya sea por las temperaturas frías, la falta de presión de aire, la falta de humedad o las condiciones del suelo, entre otros factores. En la zona de la línea arbolada, el crecimiento de los árboles es muy lento y raquítico debido a las condiciones extremas. Se pueden distinguir varios tipos de líneas arboladas: alpina, que señala los lugares de mayor altitud debido al frío o porque la tierra permanece cubierta de nieve durante demasiado tiempo (Tabla 1); desértica, donde las precipitaciones son insuficientes para que los árboles puedan crecer; de exposición, en lugares aislados como las costas o montañas, donde los vientos reducen el crecimiento de los árboles; ártica y antártica, que indican las regiones más al norte o sur, respectivamente, en que los árboles pueden desarrollarse, condicionados por el frío y las temperaturas extremadamente bajas que pueden dar lugar a la congelación de la savia en el interior de los árboles, causando su muerte (Tabla 2); además, el permafrost en el suelo puede impedir que los árboles logren que sus raíces alcancen suficiente profundidad para el necesario apoyo estructural.

Las especies de árboles más frecuentes en las líneas arboladas son las coníferas. Otras, como el abedul pubescente (*Betula pubescens*) del norte de Europa, Islandia y Asia, el eucalipto de nieve australiano (*Eucalyptus pauciflora*) y las hayas antárticas (*Nothofagus antarctica*) del extremo sur de Chile y Argentina, también se encuentran en dicha línea.