

ciones ayudarán a corregir una importante deficiencia dentro de la actual red de observación meteorológica, permitiendo un estudio más detallado del equilibrio y de la circulación de la energía del viento sobre la Tierra.

- La Misión del Campo Gravitatorio y de la Circulación del Océano de Estado Uniforme (GOCE) pretende avanzar en la investigación de la circulación del océano de estado uniforme, de la física del interior de la Tierra y de los sistemas de nivelación (basados en GPS).
- Los objetivos globales de la Misión de Humedad del Suelo y de Salinidad del Océano son ofrecer observaciones mundiales de estas dos variables cruciales para modelizar el tiempo atmosférico y el clima. También controlará el contenido de agua de la vegetación, la cubierta de nieve y la estructura del hielo.

Hace poco el Consejo de la ESA aprobó el inicio de las actividades sobre el primer grupo de satélites de Vigilancia de la Tierra. Se cree que esta familia de satélites serán prototipos de misiones operativas necesarias para satisfacer los requisitos de los usuarios institucionales o de los mercados orientados hacia las apli-

caciones. Las misiones de Vigilancia de la Tierra también deberían ofrecer la infraestructura para la iniciativa europea de Vigilancia Mundial del Medio Ambiente y la Seguridad (GMES). En el campo de la meteorología, continuará la actual cooperación con EUMETSAT.

### Últimos comentarios

La Agencia Espacial Europea ha contribuido de forma clave a la vigilancia medioambiental desde el espacio durante casi un cuarto de siglo. Los desarrollos llevados a cabo por la ESA han demostrado ser tan valiosos que ya se han implantado de forma operativa en las organizaciones asociadas, tales como EUMETSAT.

Las misiones actuales y planificadas de Observación de la Tierra de la ESA están orientadas a la observación de parámetros medioambientales clave, incluidos aquellos que necesitan la OMM y otros programas internacionales. A principios de 2000, la ESA y la OMM iniciaron discusiones a alto nivel político sobre cooperación relacionada con satélites de I + D, que en breve debería producir acuerdos prácticos para garantizar que dicha interacción sea de beneficio mutuo para ambas organizaciones.

145

## *Perspectivas: uso de la teledetección para vigilancia y respuesta a epidemias*

Por James M. WILSON<sup>1</sup> y Compton J. TUCKER<sup>2</sup>

### Introducción

En la última mitad de abril de 1995 se identificó un brote de encefalitis equina venezolana (EEV) en manadas de caballos en el Estado de Falcon, Venezuela. En junio, se identificaron casos humanos en el mismo estado, apareciendo casos adicionales en los estados de Carabobo, Yaracuy y Lara. En septiembre, el número de casos humanos aumentó bruscamente y se había extendido al departamento de La Guajira, Colombia. Se iniciaron medidas de control de emergencia en Venezuela y Colombia, que incluyeron una campaña de vacunación equina masiva y pulverización de insecti-

cida. Siguieron identificándose casos humanos dispersos en el interior de Venezuela tan tarde como en diciembre de 1995, y fueron infectadas un total de 100 000 personas. Tantos como 3 000 sufrieron complicaciones neurológicas y 300 murieron. Se estimó la propagación del brote a una velocidad de 5 km por día, e implicó en última instancia un área de unos 200 000 km<sup>2</sup>.

Se observaron precipitaciones inusualmente fuertes tanto en Venezuela como en Colombia, que parecieron favorecer la hiperproliferación de los mosquitos vectores *Aedes taeniorhynchus*, *Psorophora confinnis* y *Anopheles aquasalis*. Se observó que estas precipitaciones eran las mayores en 18 años, coincidiendo con la periodicidad aparente de 15-20 años de los grandes brotes de EEV en Venezuela y Colombia. Las precipitaciones habían estado implicadas como factor importante al favorecer el brote y la propaga-

<sup>1</sup> Grupo de Trabajo de Enfermedades Infecciosas de la Red Mundial de Desastres Mundiales, Washington, DC, EE.UU.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Biosfera del Laboratorio de Física de la Tierra, Centro de Vuelo Espacial de la NASA-Goddard, Greenbelt, MD, EE.UU.

ción de EEV mediante la potenciación de los sitios de cría del vector [1-5].

Existen preguntas como si la modulación climática desempeñó realmente un papel en el desencadenamiento y propagación de la epidemia de EEV en 1995 [5]. Si se hubiera definido la relación entre la modulación climática, los cambios de la población del vector y la probabilidad del desencadenamiento de una epidemia, podría haber sido una posibilidad la aplicación de un pronóstico de enfermedad. La morbilidad y mortalidad humana y del ganado durante la epidemia podría haberse reducido mediante el uso efectivo de un sistema de vigilancia que pudiera proporcionar información respecto de las condiciones favorables para la iniciación y posterior propagación de la epidemia.

Los índices de teledetección (TD) de la iniciación y propagación epidémicas representan un área prometedora para la salud pública de la comunidad debido a las implicaciones de las medidas de control epidémico proactivas frente a las reactivas. El esbozo de los patrones climáticos que se cree que influyen en la aparición de una enfermedad infecciosa en una comunidad puede aplicarse directamente al desarrollo de un sistema de pronóstico de enfermedad por teledetección. En el ejemplo de la epidemia de EEV de 1995, estudios piloto que utilizaban teledetección han proporcionado información de apoyo que podría aplicarse a dicho sistema. La información predictiva proporcionada antes de la aparición del virus EEV en Venezuela y Colombia podría haber tenido un gran impacto sobre la eficacia de las medidas de respuesta pública sanitaria. Sin embargo, existen obstáculos significativos respecto de la comprensión básica del mecanismo del desencadenamiento, propagación y conclusión de las epidemias que dificultan el desarrollo rápido de los sistemas de pronóstico de la enfermedad por TD.

### Fiebre del Valle del Rift

La fiebre del valle del Rift (FVR) se ha estudiado extensamente en Zambia y Kenia con el objetivo de desarrollar un sistema de pronóstico de la enfermedad por TD. La enfermedad está causada por un virus transmitido por mosquitos que se crían en hábitats designados como "dambos" en África Oriental. Las precipitaciones estacionales excesivas contribuyen significativamente a la aparición de dambos, posibilitando así la cría a gran escala. El virus de la FVR se transmite transovariamente. Con el aumento de la población de mosquitos, la carga ambiental de virus FVR aumenta significativamente, aumentando estadísticamente las oportunidades de desencadenar una epidemia en comunidades con un bajo nivel de inmunidad hacia el virus.

Utilizando los Índices de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) derivados del Radiómetro Per-

feccionado de Muy Alta Resolución (AVHRR) de los satélites meteorológicos en órbita polar de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de los Estados Unidos (NOAA), las correlaciones entre los cambios de la vegetación por teledetección y las precipitaciones, posibilitaron el desarrollo de un prototipo de sistema de vigilancia por TD para la fiebre del valle del Rift en África Oriental. Los refinamientos del sistema, tales como tener en cuenta el efecto de El Niño/Oscilación Austral (ENOA) sobre la precipitación estacional en Kenia, ha posibilitado una capacidad de predicción de casi el 100% para el riesgo de un desencadenamiento epidémico de FVR [6, 7].

### Cólera

La aparición del cólera en comunidades humanas parece igualmente influenciada por el acoplamiento ambiental-climático. El agente causante del cólera, *V. cholerae*, es una bacteria que se adhiere a copépodos, que son zooplancton. Los humanos que toman agua no tratada contaminada con copépodos asociados a *V. cholerae* tienen un riesgo inmediato de infección y posterior iniciación de la epidemia.

Se examinaron los indicadores delegados por teledetección del aumento de riesgo de una epidemia de cólera en un reciente estudio de Lobitz y otros en Bangladesh [8]. Dado que los copépodos y otros zooplancton se alimentan de fitoplancton, el control de las concentraciones de clorofila del fitoplancton en las aguas costeras, mediante datos de teledetección, de sistemas tales como el sensor de campo de visión amplio de visión submarina (SeaWiFS), puede ser una útil variable predictiva. Además, la floración del fitoplancton y los posteriores aumentos de las poblaciones de zooplancton pueden inferirse habitualmente a partir de los aumentos estacionales de la temperatura de la superficie del mar en la costa (SST), medida por los canales de temperatura de AVHRR de NOAA. Se infirió finalmente el riesgo de exposición directa al cólera mediante el examen de la altura de la superficie del mar proporcionado por medidas del altímetro de radar TOPEX/Poseidon del Laboratorio de Propulsión a Chorro de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA). La inundación de los estuarios, y por tanto la extensión del agua costera contaminada por zooplancton asociado a *V. cholerae*, puede afectar a las comunidades humanas que viven a lo largo de los ríos a varias millas de distancia del océano.

### Síndrome pulmonar del hantavirus

Descubierto en el sudoeste de Estados Unidos en 1993, el hantavirus ha sido sometido a una intensa investigación debido a su tendencia a causar insuficiencia respiratoria aguda en individuos por lo demás sanos, con una tasa de mortalidad > 50 por ciento. Los hanta-

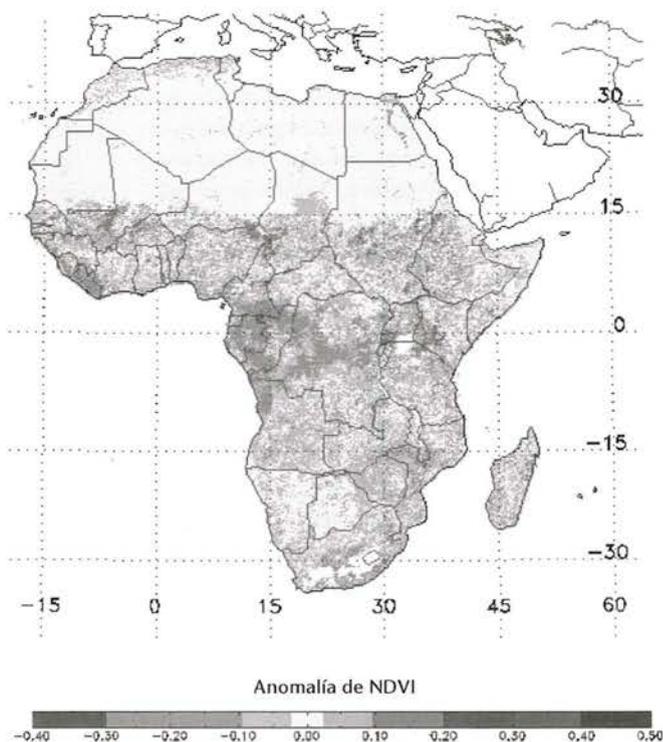
virus, específicamente el virus sin nombre (VSN), circulan en las poblaciones de ratones ciervo (*Peromyscus maniculatus*). La transmisión a humanos aparece mediante la inhalación de orina y secreciones infectadas secas de los roedores. Se observaron aumentos locales de las poblaciones de ratones ciervo próximas a casos humanos de hantavirus en 1993. Se planteó la hipótesis de que las precipitaciones anómalamente altas en 1991 y 1992 dieron como resultado mayores fuentes de alimento para los ratones ciervo y así la posterior expansión de la población de depósito de hantavirus y el aumento deducido del riesgo de exposición humana.

En un estudio de Glass y otros, se identificaron las áreas de riesgo de exposición utilizando imágenes de satélite del trazador temático cartográfico LANDSAT (TM) basadas en la identificación de áreas geográficas [9]. Estos descubrimientos tienen implicaciones significativas para el desarrollo de un sistema de vigilancia predictiva por TD. Hay que observar que los autores del estudio reconocieron una deficiencia clave en las investigaciones sobre el terreno de las hipotéticas relaciones ambientales-climáticas y la emergencia del VSN en la comunidad local.

### Fiebres hemorrágicas Ébola y Marburg

Investigaciones similares sobre los brotes de fiebre hemorrágica Ébola en África revelaron un patrón inusual de apariciones simultáneas en comunidades separadas por miles de kilómetros en Costa de Marfil, Gabón y la República Democrática del Congo. Este patrón se repitió dos veces en 1976 y 1994, lo que podría sugerir la influencia de un fenómeno de modulación climática regional a gran escala. Después de casi 25 años de intensa investigación de campo, el mecanismo de transmisión del virus Ébola de su ambiente nativo al hombre sigue siendo un misterio.

Los análisis sobre el terreno y los datos meteorológicos modelizados de precipitaciones y NDVI de AVHRR sugirieron que existían regionalmente grandes periodos de transición que implicaban la inversión de las condiciones de sequía en la mayoría de África durante el momento de la epidemia de 1994-1995 [10]. Con esta información, son necesarios estudios sobre el terreno para examinar la posible influencia de la modulación climática y la transmisión del virus de su depósito oculto al hombre. La mejor comprensión de la ecología del virus Ébola puede apli-



*Ejemplo de anomalías de NDVI cartografiadas (variaciones del NDVI esperado) para África en junio de 1994, destacando un periodo de condiciones de sequía sobre la mayoría de África tropical en el tiempo precedente a la emergencia de la fiebre hemorrágica Ébola.*

carse así al futuro desarrollo de un sistema de predicción por TD. Una limitación importante de este trabajo ha sido la aparición de pocos brotes durante el periodo 1981-2002.

Los estudios piloto realizados por este autor y colaboradores utilizando la misma metodología para examinar las condiciones climáticas coincidentes con la aparición de la fiebre hemorrágica Marburg en comunidades africanas no han revelado ninguna asociación identificada. El virus Marburg es un pariente molecular del virus Ébola, y comparte presentaciones clínicas similares en humanos, con tasas de mortalidad similares. Como con el virus Ébola, se sabe poco de la ecología del Marburg. Las asociaciones de patrón climático identificadas con la aparición del Ébola no se han aplicado a la emergencia del Marburg. Esto plantea la pregunta de si puede utilizarse documentación fiable de la incidencia de una enfermedad infecciosa asociada con modulación climática para proporcionar no sólo una información anticipada sino discriminativa.

### Desarrollo de un sistema de vigilancia epidémica por teledetección

Utilizando el ejemplo de la epidemia de EEV, deben darse diversos factores para que aparezca la iniciación

de una epidemia en una comunidad humana. En 1995, los niveles de inmunidad de la población (designados como "inmunidad de la manada") tanto para caballos como hombres eran bajos. Esto implicaba que había pasado un largo periodo de tiempo desde la última epidemia de EEV en humanos y/o caballos. Puesto que existía una vacuna de EEV equino y estaba en uso en Venezuela, esto implicaba que la cobertura de vacunación de las manadas de caballos locales era inadecuada. Otro factor importante es la aparente sobreabundancia de tres especies de mosquitos vectores de EEV. Finalmente, el EEV existe en diversas formas moleculares de capacidad variable de infectar a caballos y humanos, causar la enfermedad clínicamente visible, y posteriormente desencadenar una epidemia a gran escala. La presencia de la forma epidémica del EEV se confirmó en el momento de la epidemia. El punto hipotético en el que la modulación climática podría desempeñar un papel es en el momento de la expansión de la población de mosquitos. Sin embargo, debe observarse que la expansión de la población del vector competente de transmisión no es por sí sola garantía del desencadenamiento de una epidemia. Son necesarios factores adicionales, tales como la presencia de la forma epidémica del patógeno y una especie anfitriona inmunológicamente sensible para posibilitar el desencadenamiento. Este punto se vuelve crítico cuando se considera el desarrollo de un sistema de vigilancia epidémica por teledetección: que dicho sistema identifique las "condiciones favorables para la aparición de un patógeno dado en una comunidad". Si no están presentes los factores requeridos de desencadenamiento de la epidemia que no son dependientes de la modulación climática, entonces no aparecerá la epidemia.

Se observa la propagación epidémica a gran escala cuando estas condiciones se mantienen en vastas áreas geográficas. La eliminación de cualquier factor puede inhibir la propagación epidémica. Un ejemplo es la vacunación de emergencia de EEV de las manadas de caballos, eliminando eficazmente puntos de amplificación del virus de la epidemia. Si la población del vector se reduce bruscamente con una campaña de pulverización con pesticida o por cambios bruscos en el clima local (por ejemplo condiciones de sequía o un enfriamiento rápido), entonces puede truncarse la transmisión del virus en la comunidad afectada.

Ciertos criterios deberían llamar la atención sobre la posibilidad de influencia climática sobre la iniciación y la propagación de una epidemia:

- "Enfermedad infecciosa desastrosa", en la que se desencadena una epidemia que implica múltiples patógenos que causan formas distintas de enfermedad que afectan a decenas de miles de personas.

- Inicios epidémicos simultáneos que implican al mismo patógeno en grandes áreas geográficas, con atención especial a las apariciones simultáneas de múltiples serotipos del mismo patógeno.
- La estacionalidad observada en la incidencia de la enfermedad.
- Brotes a gran escala, especialmente aquellos que implican a decenas de miles de personas.

La idealización del proceso incluye una comprensión integral de los mecanismos implicados en el movimiento del patógeno desde su depósito hasta los humanos, y cómo se mantiene en el entorno. La clara identificación de cómo la modulación climática efectúa este proceso es crítica para el desarrollo de un sistema de vigilancia por teledetección que tenga aplicación práctica. La verificación sobre el terreno de los datos de TD mediante estudios de campo es un requisito adicional. Existe un amplio intervalo de bases de datos de TD que tienen utilidad en el desarrollo de un sistema de vigilancia de la enfermedad [11].

### Implicación de la comunidad meteorológica

Son congruentes con estos requisitos unos datos meteorológicos de alta resolución exactos, fiables y rápidamente accesibles. Existen grandes deficiencias en la cobertura espacial y temporal para variables meteorológicas básicas, tales como precipitaciones, humedad y temperatura. La accesibilidad mundial de los datos por la resolución 40 de la OMM (Cg-XII) es crucial para las investigaciones efectivas de la modulación climática de la incidencia de enfermedades. Con un desarrollo exitoso de un sistema de vigilancia por TD, la necesidad de acceso a la propagación a tiempo real de los datos meteorológicos se convertirá en un requisito cada vez más importante para la verificación sobre el terreno, ya que los sistemas de TD pueden ensayarse en un escenario de respuesta epidémica aguda.

El estudio de la epidemiología es un campo multidisciplinar. Los últimos años han mostrado un interés creciente en el aspecto de las posibles influencias del clima sobre el desencadenamiento y la propagación de epidemias. Los esfuerzos de colaboración entre la comunidad meteorológica y de salud pública deben potenciarse, dados los beneficios potenciales del uso con éxito de sistemas de vigilancia por TD.

### Referencias

- [1] *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 1995: Venezuelan equine encephalitis — Colombia, volume 44(39), 721-724.
- [2] *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 1995: Venezuelan equine encephalitis Colombia. Update: Venezuelan equine encephalitis — Colombia, 1995, volume 44(41), 775-777.

- [3] *Weekly Epidemiology Record*, 1995. Outbreak of Venezuelan equine encephalitis in Colombia and Venezuela. World Health Organization. Volume 70 (40), 283.
- [4] RIVAS, F., L.A. DÍAZ, V.M. CÁRDENAS, E. DAZA, L. BRUZON, A. ALCALÁ, O. DE LA HOZ, F.M. CÁCERES, G. ARISTIZÁBAL, J.W. MARTÍNEZ, D. REVELO, F. DE LA HOZ, J. BOSHELL, T. CAMACHO, L. CALDERÓN, V.A. OLANO, L.I. VILLARREAL, D. ROSELLI, G. ÁLVAREZ, G. LUDWIG y T. TSAI, 1997. Epidemic Venezuelan equine encephalitis in La Guajira, Colombia, *Journal of Infectious Diseases*, 175 (4), 828-832.
- [5] WEAVER, S.C., R. SALAS, R. RICO-HESE, G.V. LUDWIG, M.S. OBERSTE, J. BOSHELL y R.B. TESH, 1996. Re-emergence of epidemic Venezuelan equine encephalomyelitis in South America. VEE Study Group, *Lancet*, 17; 348 (9025), 436-440.
- [6] LINTHICUM, K.J., C.L. BAILEY, F.G. DAVIES y C.J. TUCKER, 1987. Detection of Rift Valley Fever viral activity in Kenya by satellite remote sensing imagery, *Science*, 235, 1656-1659.
- [7] LINTHICUM, K.J., A. ANYAMBA, C.J. TUCKER, P.W. KELLEY, M.F. MYERS y C.J. PETERS, 1999. Climate and satellite indicators to forecast Rift Valley Fever epidemics in Kenya, *Science*, 285, 397-400.
- [8] LOBITZ, B., L. BECK, A. HUQ, B. WOOD, G. FUCHS, A.S. FARUQUE, R. COLWELL, 2000: Climate and infectious disease: use of remote sensing for detection of *Vibrio cholerae* by indirect measurement, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 97 (4), 1438-1443.
- [9] GLASS, G.E., J.E. CHEEK, J.A. PATZ, T.M. SHIELDS, T.J. DOYLE, D.A. THOROUGHMAN, D.K. HUNT, R.E. ENSCORE, K.L. GAGE, C. IRLAND, C.J. PETERS y R. BRYAN, 2000: Using Remotely Sensed Data to Identify Areas at Risk for Hantavirus Pulmonary Syndrome. *Emerging Infectious Diseases*, vol. 6 (3), 238-247.
- [10] TUCKER, C.J., J.M. WILSON, R. MAHONEY, A. ANYAMBA, K. LINTHICUM y M.F. MYERS, 2002. Climatic and Ecological Context of the 1994-1996 Ebola Outbreaks. PE&RS (Photogrammetric Engineering & Remote Sensing), vol. 68 (2), 174-152.
- [11] BECK, L.R., B.M. LOBITZ y B.L. WOOD, 2000. Remote Sensing and Human Health: New Sensors and New Opportunities, *Emerging Infectious Diseases*, 6(3), 217-227.

## Proyecto de Preparación para la utilización de la Segunda Generación de METEOSAT en África (PUMA)



### El satélite

Después de muchos años de valioso servicio, Europa está preparando el cambio de su principal satélite meteorológico METEOSAT. El primer satélite de la serie de Segunda Generación de METEOSAT (MSG) se lanzará en julio de 2002 y funcionará al menos hasta el año 2014. El satélite geoestacionario está diseñado para ofrecer imágenes mucho mejores del tiempo cambiante de Europa y de África cada 15 minutos, con una mayor resolución espectral y espacial. Diseñado para el beneficio de la comunidad de usuarios meteorológicos europeos, MSG también ofrecerá abundantes datos "gratis" a los países africanos. Estos datos serán adecuados para una amplia serie de aplicaciones, en meteorología misma, y también, de forma más amplia, en el campo de la gestión medioambiental.

El nuevo programa de satélite de 2 000 millones de euros ha sido desarrollado entre la Agencia Espacial Europea y la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT), y estará dirigido desde EUMETSAT. Se puede encontrar toda la información sobre las capacidades del satélite en:

<http://www.eumetsat.de/msg>

### El proyecto PUMA

El acceso rápido a la información meteorológica es una parte cada vez más importante de nuestra globalizada sociedad de la información. La meteorología es una ciencia mundial: con mucho, las mejores predicciones meteorológicas provienen de potentes ordenadores que modelizan de forma continua el tiempo mundial y que se actualizan continuamente con observaciones de estaciones y de satélites meteorológicos de todos los lugares del mundo. El MSG ha sido el catalizador de una excepcional colaboración en África. Todos los países africanos han acordado un proyecto de "sociedad de la información globalizada" para transformar los servicios meteorológicos de todo el continente. El MSG ofrecerá una transmisión rápida de estos productos de predicción a los SMN de África para que se interpreten inmediatamente y se difundan a los clientes. Todos los SMN se beneficiarán enormemente de su participación en esta red mundial, mantenida de forma colectiva a través de la OMM.

La red ofrecerá información mucho mejor y más oportuna para avisos tempranos de desastres, mayor seguridad para los alimentos, mejor gestión sanitaria,