

Presentación

Tenemos el placer de presentar al lector esta monografía que recopila 69 trabajos científicos presentados al XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, celebrado en Madrid (19 a 21 de septiembre de 2012), en la sede del Centro de Ciencias Humanas y Sociales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, bajo el lema **Las Tecnologías de la Información Geográfica en el contexto del Cambio Global**.

Muchos acontecimientos actuales, como los masivos cambios de usos del suelo, la deforestación de extensos biomas, los incendios forestales, etc., contribuyen a reducir la captura de CO₂ por las masas vegetales y a aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Estos acontecimientos, de origen antrópico, junto a los fenómenos naturales, tales como las erupciones volcánicas, por ejemplo, están provocando un cambio a escala global, sin precedentes. Múltiples trabajos científicos documentan y demuestran una tendencia de incremento de las temperaturas y de disminución de las precipitaciones que son manifestaciones del cambio climático. Las consecuencias de este cambio global son tan evidentes que preocupan, hondamente, no sólo a los científicos sino también a los organismos internacionales, a los políticos y, en general, a los ciudadanos. Esta preocupación se manifiesta en forma de planes, recomendaciones, directivas, proyectos de investigación y de acción con objeto de conocer mejor este fenómeno, sus causas, sus manifestaciones y, por supuesto, de luchar contra sus consecuencias y mitigar sus efectos.

Como es sabido, la Ciencia de la Información Geográfica y sus tecnologías asociadas (Teledetección, Sistemas de Información Geográfica), son especialmente útiles para abordar el reto que nos plantea el cambio global. Muchas de las comunicaciones contenidas en este libro tienen relación con las distintas dimensiones de este problema y aportan soluciones metodológicas y tecnológicas. Asimismo, proporcionan productos y resultados, en formato cartográfico muchos de ellos, que deben ser útiles de primer orden para facilitar la toma de decisiones de los expertos en planificación y ordenación del territorio y de los responsables políticos con competencias en estas materias. Otros trabajos aquí presentados, se centran en territorios más pequeños. Utilizan también las mismas tecnologías de la información geográfica de tal manera que lo experimentado a escala local puede ser implementado, con los ajustes metodológicos necesarios, a escala global. En estos casos, se hace patente el eslogan de programas globales como la Agenda 21: “pensar globalmente, actuar localmente”. Todas estas aportaciones científicas, recopiladas en este volumen, formarán parte, adicionalmente, del repositorio digital de este grupo de trabajo de la Asociación de Geógrafos Españoles (AGE), que es de acceso libre en la siguiente web: <http://age.ieg.csic.es/metodos/publicaciones.html>

El grupo de Tecnologías de la Información Geográfica de esta asociación es el encargado de organizar este congreso en su decimoquinta edición. Estos encuentros científicos se organizan, bienalmente, con objeto de intercambiar experiencias y de contribuir al avance científico. Se celebra, por segunda vez, en Madrid después de 27 años y de haber recorrido otras 13 ciudades españolas. A pesar de las difíciles circunstancias socio-económicas actuales, este evento cuenta con el patrocinio y el apoyo institucional de la Asociación de Geógrafos Españoles y, en especial, del grupo de trabajo de Tecnologías de la Información Geográfica, del CSIC, a través del Centro de Ciencias Humanas y Sociales y del Instituto de Economía, Geografía y Demografía, por medio de su programa de Actividades Científicas, del Ministerio de Fomento, a través del Centro Nacional de Información Geográfica y del Instituto Geográfico Nacional, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, a través de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) y del Observatorio de la Sostenibilidad de España. Las empresas del sector, con base tecnológica, patrocinan el congreso y participan activamente mediante stands (Intergraph), cursos (Complutig), Sesiones Técnicas (Intergraph, MiraMon, Bonsai y Tracasa), conferencias (ESRI-España) y mediante una exposición de imágenes de satélite (Geosys) que ilustran, en algunos casos significativos, las huellas del cambio global.

El Comité Organizador desea agradecer a todas aquellas personas que han hecho posible la realización de este congreso, a quienes han contribuido con sus aportaciones científicas, a las instituciones y empresas colaboradoras, que tan amablemente han acogido y apoyado esta iniciativa, y a los numerosos miembros de los comités organizador y científico que, generosamente, han dedicado su saber hacer y su especializado conocimiento en las distintas fases de organización del congreso.

Javier Martínez-Vega y M^a Pilar Martín
Editores

Comités

Comité organizador:

Javier Martínez Vega (Centro de Ciencias Humanas y Sociales-CSIC)
M^a Pilar Martín Isabel (Centro de Ciencias Humanas y Sociales-CSIC)
David Riaño Arribas (Centro de Ciencias Humanas y Sociales-CSIC)
Pilar Echavarría Daspet (Centro de Ciencias Humanas y Sociales-CSIC)
Israel Gómez Nieto (Centro de Ciencias Humanas y Sociales-CSIC)
Gorka Mendiguren González (Centro de Ciencias Humanas y Sociales-CSIC)
Marta Gallardo Beltrán (Centro de Ciencias Humanas y Sociales-CSIC)
Javier Pacheco Labrador (Centro de Ciencias Humanas y Sociales-CSIC)
Elia Durá Candela (Centro de Ciencias Humanas y Sociales-CSIC)
Ana María Cortijo (Universidad de Sevilla)

Comité científico:

Javier Martínez Vega (Centro de Ciencias Humanas y Sociales-CSIC)
M^a Pilar Martín Isabel (Centro de Ciencias Humanas y Sociales-CSIC)
David Riaño Arribas (Centro de Ciencias Humanas y Sociales-CSIC)
Emilio Chuvieco Salinero (Universidad de Alcalá)
Javier Salas Rey (Universidad de Alcalá)
Inmaculada Aguado Suárez (Universidad de Alcalá)
Mariano García Alonso (Universidad de Alcalá)
Joaquín Bosque Sendra (Universidad de Alcalá)
Francisco Javier Escobar Martínez (Universidad de Alcalá)
María Jesús Salado García (Universidad de Alcalá)
Montserrat Gómez Delgado (Universidad de Alcalá)
Francisco Aguilera Benavente (Universidad de Alcalá)
Pedro Vivas White (Instituto Geográfico Nacional-CNIG)
Javier Martín Vide (Universidad de Barcelona)
Javier Gutiérrez Puebla (Universidad Complutense de Madrid)
Antonio Moreno Jimenez (Universidad Autónoma de Madrid)
Raúl Romero Calcerrada (Universidad Rey Juan Carlos)
Xavier Pons Fernández (Universitat Autònoma de Barcelona)
Juan de la Riva Fernández (Universidad de Zaragoza)
Fernando Pérez Cabello (Universidad de Zaragoza)
Paloma Ibarra Benlloch (Universidad de Zaragoza)
María Teresa Camacho Olmedo (Universidad de Granada)
Luis Hernández Calvento (Universidad de Palmas de Gran Canaria)
Ismael Vallejo Villalta (Universidad de Sevilla)
José Ojeda Zújar (Universidad de Sevilla)
David Cocero Matesanz (UNED)
José Ignacio Barredo Cano (Joint Resarch Centre)
Lara Vilar (Joint Resarch Centre)

Validación del potencial de la información de TST obtenida con MODIS para su aplicación en el desarrollo de modelos de distribución de parásitos

J. Alonso-Carné^{1, 2}, A. García-Martín¹ y A. Estrada-Peña²

¹Departamento de Geografía. Universidad de Zaragoza.

²Departamento de Parasitología. Universidad de Zaragoza.

jalonso@unizar.es, algarcia@unizar.es, aestrada@unizar.es

RESUMEN

La modelización de áreas de idoneidad de hábitat para parásitos de interés biosanitario, como las garrapatas, es un fenómeno en auge debido al fenómeno del cambio climático, que está provocando el aumento de sus infecciones y, al aumento de la disponibilidad de datos gracias a la teledetección, siendo la temperatura el factor clave a considerar. Ésta debe ser estimada eficientemente para definir correctamente los nichos de las poblaciones. Sin embargo, frecuentemente, los datos obtenidos desde las imágenes de satélite son utilizados para el ajuste de los modelos de distribución buscados sin considerar sus restricciones, con lo que los resultados derivados no son del todo precisos y contienen errores. Centrándonos en el sensor MODIS, este trabajo realiza un análisis comparativo del producto de Temperatura MODIS con respecto a la Temperatura de Superficie (Tair) para una serie larga de tiempo (2000-2010), comprobando que se producen errores significativos asociados a motivos geográficos (Cuenca Mediterránea y Europa del Norte), temporales (hora de paso) y técnicos que limitan su uso en aplicaciones ecológicas. Se propone el uso conjunto de datos MODIS Terra y Aqua como la serie más válida para trabajar con modelos ecológicos en Europa al ser ésta la que menor error presenta tanto con los máximos como con mínimos diarios. Finalmente, se demuestra la importancia de los errores detectados en las estimaciones de MODIS con respecto a los datos de Tair a través de un modelo de desarrollo de *Ixodes ricinus*, obteniéndose diferencias en los modelos de distribución anual de un 36%.

PALABRAS CLAVE

MODIS, temperatura, limitaciones, modelos distribución de parásitos, validación.

ABSTRACT

Modelling habitat suitability areas of parasites such as ticks due to its biomedical interest is a growing area linked to climate change, which is causing the increase of their infections and the availability of data through remote sensing being temperature the key factor to consider. Temperature should be estimated as best as possible to correctly define the niche populations. But at the moment, satellite data are frequently used freely without regard to prejudice the quality of models and measures for which requested. Focusing on the MODIS sensor this paper makes a comparative analysis of MODIS product temperature against surface temperature (Tair) for a long European time serie 2000-2010 checking that there are significant errors associated with geographical reasons (Mediterranean Area and Northern Europe), time (Time Step) and MODIS technicians that limit their use in ecological tasks. The proposed joint use of MODIS Terra and Aqua Series as the most valid serie to work with ecological models in Europe for being the most fitted as maximum daily as minimum daily and finally it demonstrates the importance of the errors through a model for *Ixodes ricinus* where there is a

difference of up to 36% annually depending on the model that it was used. We urged to all concerned to pay attention to it due to it was not considered.

KEY WORDS

MODIS, temperature, limitations, parasites distribution models, validation.

1 INTRODUCCIÓN

Abundantes publicaciones durante las últimas décadas del siglo XX y los comienzos del siglo XXI muestran un incremento en el umbral y la magnitud de las infecciones transmitidas por garrapatas a escala global (Paddock y Telford III, 2011, Gray *et al.*, 2009, Dennis y Piesman, 2005). Este fenómeno es generado por una mezcla compleja de factores que incluyen el paisaje, el clima, los hospedadores y la propia distribución de las garrapatas (Pavlovsky, 1966), que relacionados pueden provocar áreas regionales de alto riesgo.

Consecuentemente, el impacto del cambio climático sobre el ciclo de vida de este tipo de animales perjudiciales para la salud, como las garrapatas, puede ser estudiado cada vez con más detalle dada su influencia directa en la existencia de hábitats viables para éstos. De forma que, en la actualidad, se trabaja en este ámbito en la aplicación de modelos de distribución para tener en cuenta el cambio climático y su impacto en la distribución a través de estudios ecológicos teóricos y aplicados (Guisan y Thuiller, 2005, Austin, 2002a, Guisan y Zimmermann, 2000), así como su efecto como vectores de impacto sobre la salud humana y animal (Estrada-Peña y Venzal, 2007, Ostfeld *et al.*, 2005).

En éstos se relacionan factores climáticos, principalmente temperatura, con las tolerancias fisiológicas conocidas de las especies, ya que éstas imponen fuertes restricciones estacionales en la dinámica de las poblaciones de garrapatas dado que la mayor parte de su ciclo es fuera del hospedador, ya sea buscando activamente a éste entre la vegetación, o en desarrollo-muda, siendo ambos estados, de igual forma, dependientes de la temperatura.

De esta forma, los modelos de distribución se centran en las fases del ciclo de vida de las garrapatas que son termo-dependientes. El rango y los límites de la variable "temperatura de superficie" son un indicador clave para el análisis de los efectos del cambio climático sobre su ciclo de vida.

Los datos de temperatura que se utilizan corresponden a dos orígenes distintos: la temperatura del aire (Tair) o la temperatura de superficie (TST) (Jin y Dickinson, 2010). Tair se mide a 1,5 m sobre el nivel del suelo en las estaciones meteorológicas con sensores oficiales

protegidos de la radiación y con ventilación adecuada. TST es la temperatura radiométrica derivada de la radiación térmica infrarroja emitida por la superficie terrestre obtenida mediante teledetección, siendo ésta considerada como un parámetro sustituto adecuado de Tair.

De esta forma, en la actualidad, los productos de temperatura procedentes de la teledetección están siendo utilizados masivamente para la realización de modelos de distribución gracias a su diversidad y fácil acceso. En estos modelos se asume explícitamente que la temperatura media del período considerado es el proporcionado por el conjunto de datos obtenidos mediante teledetección.

La serie de los datos del sensor MODIS (NASA) es especialmente atractiva y utilizada para aplicaciones epidemiológicas ya que: (i) tiene una buena resolución espacial (ii) tiene una buena resolución temporal (1-2 días) y (iii) los datos son completamente calibrados, testados y estandarizados por NASA, ofreciendo un acceso sin precedentes, rápido y fiable al conjunto de los datos ambientales a estudio.

Sin embargo, las imágenes de satélite tienen sus limitaciones y errores que deben ser considerados y tratados para la correcta creación y consideración de nuestros modelos. En primer lugar, las imágenes MODIS se acompañan de un conjunto de indicadores de calidad (byte) que describen errores conocidos en su producción y tratamiento que deben ser descartados cuando procede para trabajar. En segundo lugar, los valores que se obtienen mediante la teledetección, en este caso MODIS, a pesar de ser válidos no son, en muchos casos, los más adecuados para los modelos ecológicos de distribución de especies.

De no considerarlos, estos errores intrínsecos afectan a los resultados de los modelos, no solo por la entrada de datos erróneos de forma directa, sino también, después del procesamiento de las imágenes de acuerdo con una transformación de Fourier o tras la descomposición en factores no correlacionados después de un Análisis de Componentes Principales, que son dos técnicas cada vez más utilizadas para el reconocimiento del hábitat para artrópodos.

Este trabajo, por tanto, tiene como objetivos: 1) producir un análisis comparativo del producto de Temperatura de Superficie de MODIS para

una serie larga de tiempo como fuente de datos para la creación de modelos de distribución de especies parasitarias con respecto a valores validados en el terreno de Tair; y 2) a partir de los resultados obtenidos destacar a los usuarios potenciales de este tipo de productos de teledetección sus limitaciones y la consideración de éstas de cara a su correcto uso en su aplicación en estudios epidemiológicos de artrópodos. Para ello, se emplea un ejemplo real con *Ixodes ricinus* en su zona de distribución Europea.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Nuestra zona de estudio incluye el Paleártico occidental, comprendiendo la región delimitada entre los 11° W, 45° E, 29° N° y 71° N. Desde el punto de vista administrativo incluye todos los países al Oeste de la frontera ruso-europea y al Norte del desierto del Sahara hasta el Océano Atlántico. La zona tiene un interés potencial respecto a la probable ampliación de las garrapatas y los patógenos transmitidos por éstas.

Los datos de la serie MOD11C2 y MYD11C2 (versión 5) de los productos MODIS fueron descargados para el período comprendido entre los años 2000 y 2010. Los productos ofrecen, respectivamente, las mediciones de TST de Terra y Aqua, este último desde 2002. Ambos satélites tienen diferentes tiempos orbitales para el territorio estudiado, pudiendo esto tener una profunda influencia en la estimación de la temperatura diaria promedio y su aplicación a los procesos ecológicos. La resolución espacial es de un valor nominal de 0,05° (5.600 m aprox). Los datos de la versión 5 de MODIS son validados en su producción por el propio Equipo Científico de MODIS-NASA, lo que garantiza que estos datos son válidos para su uso en las publicaciones científicas (Wan, 2008).

Para cada período de 8 días, hemos utilizado las pasadas de "día" y "noche", tanto de Terra y Aqua. Las imágenes fueron recortadas a los límites geográficos de la región de estudio y se transformaron para obtener la medición de la temperatura en grados Celsius. Seguidamente, se filtraron las imágenes a partir de las "banderas de calidad" formuladas por el equipo de MODIS eliminando aquellos píxeles que se indicaban no válidos, nulos o afectados gravemente por errores de estimación de temperatura (>3°C), nubes o agua. Así, por cada período de 8 días en el intervalo 2000-2010, se obtuvieron valores TST junto con una clasificación de 3 niveles de la calidad del dato para cada píxel válido (QC 1=perfecto, 2=óptimo, 3=válido, aunque afectado por vapor de agua).

Para comparar dichos valores provenientes de MODIS se utilizaron los datos de las series de temperatura obtenidas a través de la red de estaciones de la plataforma ECA&D. Las series de datos diarios de ECA&D comprenden también todo el período 2000-2010 y son de calidad controlada (disponible en <http://eca.knmi.nl/>). El conjunto de datos ECA&D contiene 26.141 series diarias de observaciones en 4.824 estaciones oficiales meteorológicas en toda Europa y el Mediterráneo (figura1)

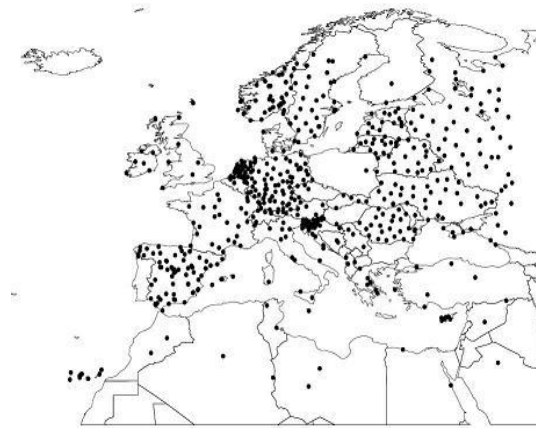


Figura 1. Límites geográficos del área de estudio y estaciones utilizadas

A los datos de ECA&D de temperatura máxima, mínima y media (obtenidos con R) y a los de MODIS se aplicaron, para cada intervalo de 8 días y en pares de puntos en el período 2000-2010 en donde ambos tuvieran valores de calidad válidos, los siguientes procesos:

- 1) se realizó un análisis general del conjunto de los datos ECA&D (Tair) –MODIS; 2) se aplicó una cuadrícula de latitud y longitud para comprobar si existían diferencias según la región geográfica y/o la estación del año; 3) se generó un mapa definido por unos píxeles de 1° de radio asociado a cada estación de control que expresan el promedio de los errores observados en MODIS en toda la serie para así contemplar fácilmente su dimensión espacial; 4) se analizó el efecto del hábitat sobre los errores de MODIS a partir de la clasificación propuesta en: <http://www.worldwildlife.org/science/data/item1875.html> (consultado en mayo de 2012); 5) se tabuló el momento de la trayectoria orbital (día y noche) de cada satélite en el área de estudio para comprobar el error asociado a cada medición en promedio durante el período 2000-2010; y, finalmente, 6) a modo de ejemplo, se utiliza para ambas series de datos, una sencilla ecuación de segundo grado para modelar el período de desarrollo de huevo a larva de la garrapata *Ixodes ricinus* a partir de la temperatura media, conforme a lo dispuesto por Dobson *et al.* (2011).

Con esto último, se pretende utilizar una ecuación contrastada, que describe uno de los procesos del ciclo de vida de una garrapata propia de la zona de estudio caracterizada por la variable temperatura para así poder observar la importancia del error y sus efectos en la propagación de dicho modelo.

3 RESULTADOS

3.1 Análisis general MODIS-ECA&D

Tras cruzar las 3 variables calculadas con ECA&D (Media, Máx., Min) con MODIS Terra y Aqua día y noche, se comprueba que en el caso de los valores de día, MODIS sobrestima las temperaturas, y en la noche, MODIS claramente subestima los valores de la temperatura.

Se encontraron diferencias significativas entre las medias de ambas series de temperatura encontrándose diferencias entre 3°C y 5°C durante el día y la noche para Terra y entre 5°C y 6°C durante el día y la noche para Aqua. Por el contrario se observa bien correlacionada la relación Día-Máximo, Noche-Mínimo para ambas series, Terra y Aqua, respecto de ECA&D, estando los resultados de Terra ligeramente mejor correlacionados con la Tair tanto de día como, más claramente, de noche.

El error medio entre la media de las Máximas de ECA&D y MODIS Terra Día para el total del período 2000-2010 es de sólo 0,04° C si consideramos las banderas de calidad MODIS y 0,93° C sin estimar el control de calidad. Por lo tanto, en el caso de temperaturas máximas diarias, los datos ECA&D y MODIS Terra parecen bien correlacionados teniendo en cuenta sólo la media de todo el período.

Por último, se comprueba la precisión de los datos de MODIS válidos a pesar de su discriminación en distintos baremos de calidad a la hora de calcular la temperatura ya que ésta sólo mejora en el área de estudio aproximadamente 0,2°C, si descartamos los píxeles válidos aunque no óptimos (nube, hielo, nieve, etc.).

3.2 Análisis geográfico MODIS-ECA&D

3.2.1 Análisis Terra-ECA&D

La distribución geográfica del error entre la Temperatura Máxima de ECA&D y Terra día, de acuerdo a la latitud y longitud a lo largo de 8 días de intervalo, en promedio, para toda la serie, genera sobreestimación de la temperatura del suelo por parte de MODIS hacia las latitudes Sur (Mediterráneo) y tiende a disolverse en las latitudes del Norte. Longitudinalmente, el error es máximo en los extremos Este y Oeste. Así, mientras el promedio de error entre la Media de las Máximas del Tair y TST MODIS día está equilibrado considerando el conjunto de datos completo (como se había indicado (0.04)), un análisis regional indica que MODIS Terra tiende a sobreestimar la temperatura en algunas regiones Occidentales con hasta 5°-10°C, en verano, en torno a la cuenca mediterránea y durante la primavera en longitudes del Este.

Cuando se analiza la relación mínimo de Tair y MODIS la serie Terra tiende a sobreestimar las temperaturas mínimas en cada latitud y longitud. Estos errores son más evidentes en verano, para cualquier coordenada geográfica.

3.2.2 Análisis AQUA-ECA&D

En Aqua se observa una relación semejante aunque con una mejor correlación en la estimación de la temperatura en la zona Norte entre el paralelo 40°N y 55°N, a partir del cual se aprecia una pequeña sobreestimación. No hay diferencias específicas para el gradiente de Longitud en Aqua.

3.2.3 Análisis conjunto MODIS-ECA&D

En un intento por equilibrar y reducir los errores en los datos de temperatura máxima y mínima, se mezclaron, en un solo conjunto de datos, Terra y Aqua para compararlos con los datos de las estaciones ECA&D (figura 2a y 2b).

En este caso, los errores se concentraron dentro de +5°C (subestimación) y -10°C (sobrestimación). El error máximo sigue apareciendo en verano en las latitudes bajas, pero se logra una mejoría obteniendo valores más aproximados en todo el rango entre 35°N y 44°N. En otoño e invierno, de igual manera, MODIS tiende a subestimar ligeramente las temperaturas mínimas.

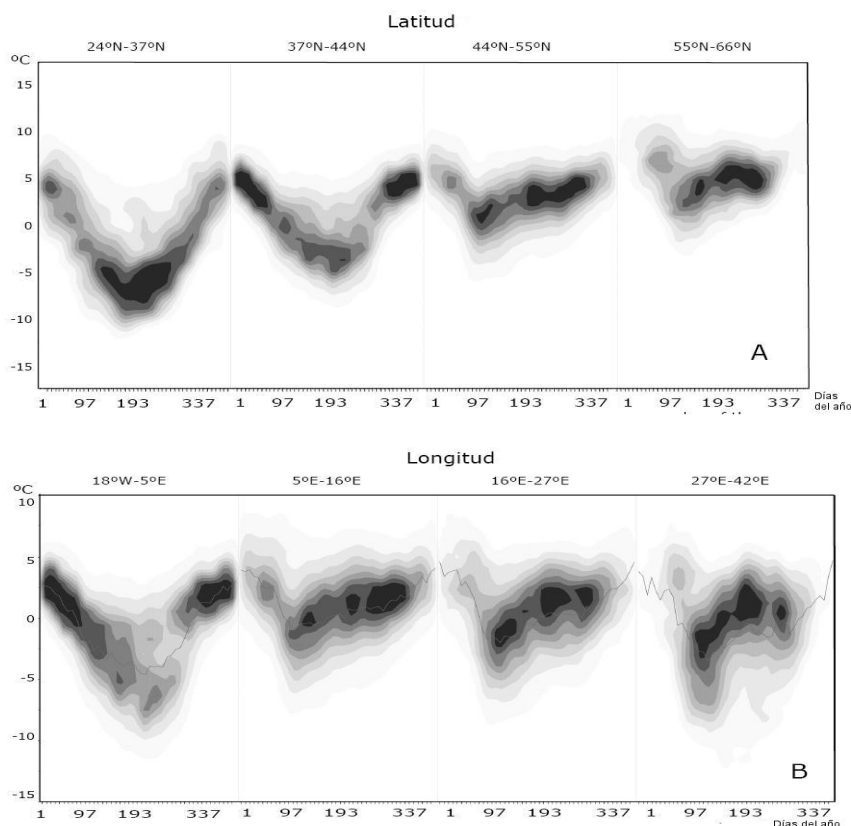


Figura 2a y 2b. La media de error entre las temperaturas del aire máxima y mínima (ECA&D) y el conjunto Día y Noche para MODIS Terra y Aqua, mezclados en una sola serie de datos de acuerdo a la latitud geográfica (A) y Longitud (B) y el día del año.

3.2.4 Análisis Fourier

De igual forma, se realizó el análisis del conjunto de datos para toda la serie a una transformada de Fourier no comprobándose mejoras significativas en los resultados.

3.3 Relación espacial de los resultados

Para comprender más fácilmente todos estos datos se generó una comparación de los errores promedio de MODIS para toda la Serie 2000-2010 para cada punto de control (estación) generando celdas hexagonales de 1° de radio a partir de aquellas (figura 3). La distribución geográfica de los errores muestran claramente que la cuenca Mediterránea está afectada por un problema de sobreestimación de la temperatura, para el período completo de estudio y, en cambio, los puntos de subestimaciones se concentran a lo largo de áreas más difusas en el centro y Norte de Europa (cordilleras, costas...etc.).

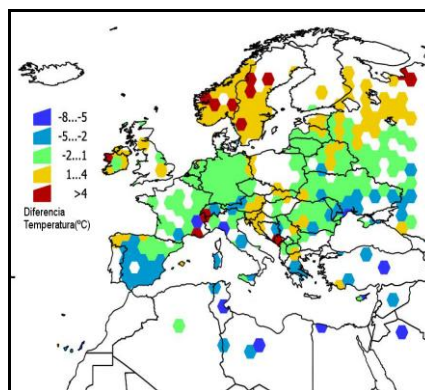


Figura 3. Gráfica del error entre ECA&D y las temperaturas MODIS, en función de las coordenadas geográficas. Los datos se muestran en una resolución de hexágonos de 1° de radio. Cada hexágono está coloreado de acuerdo con el valor promediado de todas las comparaciones para cada estación que cubre el territorio. Áreas sin hexágonos significa que no hay dato de ECA&D validado y, por lo tanto, no hay medida del error.

3.4 Efecto de los Biomas

A partir de los resultados se comprobó si el patrón geográfico estaba relacionado en función del bioma de dichas áreas.

Se observaron mayores diferencias en los ecosistemas térmicamente más extremos sufriendo grandes sobrestimaciones en los biomas mediterráneos y desérticos e importantes subestimaciones en climas de alta montaña, húmedos o latitudes septentrionales (Escandinavia-Rusia). En cambio, los biomas de latitudes medias, donde la variabilidad térmica es menor y más estable, los resultados fueron bastante más correctos.

3.5 Efecto del momento de paso orbital de los satélites

La asociación entre el error calculado y el tiempo de la trayectoria orbital de los satélites se reveló como significativa en la pasada de noche de Terra y Aqua. Así, para ambas series, cuanto más se aproxima el momento de la toma de datos a la hora en que se produce el amanecer (que es la que marca el mínimo diario en las distintas regiones), más se reduce el error. En cuanto a las pasadas de día, este efecto es más heterogéneo en toda el área de estudio, no pudiéndose establecer una correlación directa en el error inducido por este factor.

3.6 Ejemplo del impacto de los errores en un modelo de distribución de *Ixodes ricinus*.

Finalmente, para conocer una estimación del impacto de estos errores de temperatura, comprobados los incrementos de las estimaciones de MODIS sobre los modelos de distribución de garrapatas, se aplicó una simple ecuación cuadrática que describe el desarrollo de los huevos de *Ixodes ricinus* teniendo en cuenta, por un lado, las temperaturas de ECA&D y, por el otro, las de MODIS.

En los resultados obtenidos destaca que el error promedio general entre ambos fue relativamente bajo, muy inferior a un 2% para un período temporal marco de 10 días (decenal). Sin embargo, es de destacar que dicha fiabilidad se ve profundamente afectada cuando el error se examina a escalas regionales y en su valor acumulado.

Este error en el cálculo de desarrollo expresado en porcentajes se muestra en la figura 4. Hay una gran sobrestimación de las tasas de desarrollo de *Ixodes ricinus* en la cuenca del Mediterráneo (30°N- 45°N), con una sobrestimación máxima promedio de 2%-4% por decenal en verano. Sin embargo, existe una subestimación de las tasas

de desarrollo de alrededor de 1% por decenal en las latitudes del centro-Norte en otoño e invierno.

De forma que la subestimación es evidente al Norte del paralelo 44°N en la mayoría de los períodos del año, y para todo el año al Norte de 55°N.

En cuanto a un análisis longitudinal, se observa una sobreestimación general de MODIS, siendo máxima en verano en el Oeste, y a finales de primavera en longitudes del Este. La subestimación de las tasas de desarrollo sigue siendo limitada, situándose por debajo del 1% decenal en algunas regiones en el gradiente longitudinal de estudio.

4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Consideraciones sobre MODIS

A partir de los datos tratados en nuestro área de estudio, se ha comprobado que existe una sobrestimación de la TST por parte de MODIS, tal y como ya había señalado Mildrexler *et al.* (2011) a escala global. De igual forma, se ha constatado que existe una fuerte correlación positiva entre la TST de noche de MODIS y la Tair mínimo.

Según nuestros resultados, se propone a quien trabaje con MODIS a escala europea que escoja la combinación de Terra día y Aqua noche al constituir ésta la serie con la mejor estimación en comparación posible con los datos de Tair, tanto de las temperaturas máximas y mínimas para cada período de tiempo analizado. En cuanto a la dimensión espacial, se constata que los datos obtenidos en las latitudes medias son los más adecuados para su consideración en la aplicación de modelos de distribución, teniendo que sufrir una extensa revisión los datos obtenidos en zonas mediterráneas y del Norte de Europa.

Así, se ha definido la existencia de limitaciones en el uso de MODIS para la generación de mapas de temperatura efectivos para la generación de modelos de distribución óptimos debido a una fuerte limitación regional vinculada a las características bio-termales de cada área y a las limitaciones debidas a la hora de toma de datos de MODIS, siendo dicho efecto muy destacado en las zonas situadas en los extremos del área de estudio (Cuenca Mediterránea-Norte de Europa y límites Este y Oeste) dada la gran diversidad térmica de éstas.

Considerar estos hechos es fundamental dado el gran auge en el uso de este tipo de productos en la actualidad y el nulo esfuerzo, hasta el momento, para calcular la divergencia entre los

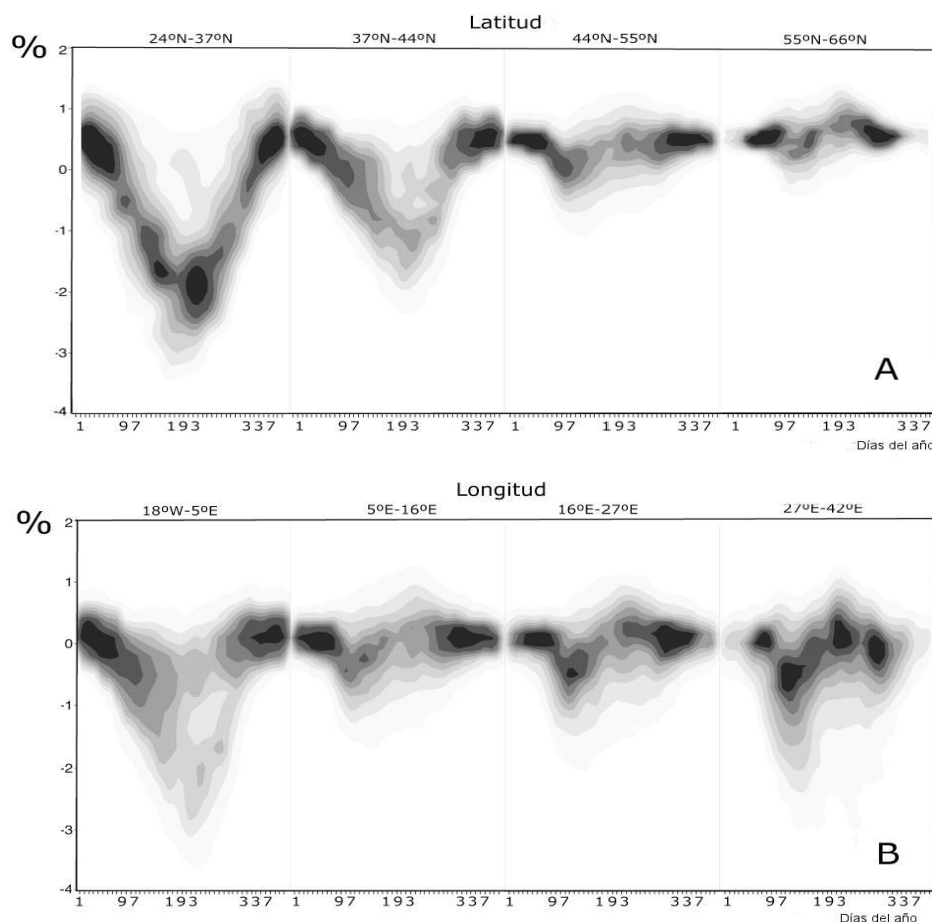


Figura 4. Porcentaje de error en una ecuación de segundo grado que mide el desarrollo de los huevos de la garrapata *Ixodes ricinus* (de Dobson et al., 2011) a lo largo de un gradiente de (a) latitud y (b) longitud geográfica y de los días del año (agrupados en decenas). Los datos fueron obtenidos aplicando a la ecuación los valores de cada estación de ECA&D y luego los valores MODIS para el píxel de la estación. Las sombras de gris son proporcionales al número de estaciones en tierra con valor.

TST, los valores de Tair y cómo afectaría esto a la salida de las ecuaciones de calibrado, dado que la temperatura es una de las variables clave en la estimación de la evolución de las garrapatas.

Por consiguiente, en este sentido, es importante destacar para consumidores poco habituales de los productos de teledetección, la necesidad de un correcto tratamiento de los datos que evite incluir valores erróneos o falsos en cualquier estudio dado que, en caso contrario, todos los productos derivados serán defectuosos. Un ejemplo de esto en campos de aplicación como el mapeo predictivo de parásitos es la obtención de falsos positivos que se da por compensación de errores que se da tratando toda la serie de forma conjunta sin analizar la distribución espacial del error (sobreestimación diurna de verano en el sur frente a subestimación nocturna en el invierno en el norte).

4.2 Limitaciones del uso de MODIS

Aunque en la actualidad es común considerar el dato de TST de MODIS como una estimación de la temperatura media en el periodo de tiempo considerado en determinados trabajos con independencia, en la gran mayoría de los casos, del área de trabajo y la cobertura vegetal de la región, al objeto de conseguir mapas de distribución en el campo de la parasitología, los resultados obtenidos en este trabajo indican que el uso directo de éstos sin un análisis geográfico previo inducen a la comisión de errores significativos en la labor de predicción, al ser precisamente el factor temperatura crucial en la correcta estimación del ciclo de vida y de la probable dispersión de las especies de garrapatas.

En este sentido, a pesar de que la versión 6 de MODIS mejorará sus limitaciones técnicas

respecto a las zonas áridas y semi-áridas, (Wan, 2009), la restricción respecto a la estimación de rangos de temperatura de interés ecológico parece que seguirá siendo difícil de solucionar dada la dificultad, desde la teledetección, de lograr ponderar áreas con un rango térmico diario amplio, ya que el tiempo de paso de Aqua o Terra sobre el territorio estudiado no logra una correcta correlación con la variabilidad total del día ni con los picos de temperaturas máximas y mínimas que se alcanzan. Así, por ejemplo, en zonas áridas, matorrales, pastizales, sabanas y tierras de cultivo se llegan a alcanzar unos valores medios de TST entre 5°C y 10°C más caliente que su Tair máxima correspondiente. Esto constituye un problema de difícil solución que, hasta el momento, se trata de solventar proponiendo una interpolación adecuada y la re-interpretación cuidadosa de las imágenes MODIS a través de una densa red de estaciones terrestres.

4.3 Efecto del error en el ajuste de modelos de distribución

Lo señalado en los anteriores párrafos se ha validado a través de los cálculos diferenciales que se han obtenido de un modelo de desarrollo de *Ixodes ricinus*. Así, se ha comprobado cómo errores relativamente pequeños, del 2-4% en las agrupaciones hechas cada 10 días, dada su iteración temporal (como se ha indicado la gran mayoría de fases -4- del ciclo de vida de la garrapata depende de la temperatura), representan, de cara a la prevención y control de los problemas bio-sanitarios, errores inasumibles de los modelos de distribución, al alcanzar un 12% de error mensual y un 36% anual.

Como se indicó anteriormente, los datos obtenidos expresan un grave problema de sobreestimación en la cuenca Mediterránea. Sin embargo, la zona que representa más problemas potenciales en este caso comprende la de latitudes septentrionales, debido a la subestimación de LST. Esto es debido a que la propagación de *Ixodes ricinus* por Europa del Norte está limitada por las bajas temperaturas en las latitudes más altas (Jaenson *et al.*, 2012) o de gran altura que impiden que complete su ciclo de vida. Si los modelos de ciclo de vida se aplican en estas latitudes, obtenemos una subestimación media de las tasas de desarrollo de 1% por cada período de 10 días a lo largo de todo el año. En el peor cálculo posible de la estimación, la subestimación total sería aproximadamente un 36% para el año completo. Es decir, usando solo MODIS, el límite Norte del área disponible para el desarrollo de las garrapatas puede estar limitado hasta un 36%, descartando zonas con verdadero riesgo potencial de presencia, con el consecuente riesgo bio-sanitario asociado.

4.4 Líneas de trabajo futuras

Es interesante el análisis crítico o la construcción de modelos completos de distribución de garrapatas teniendo en cuenta lo aquí indicado, de forma que se pudiera consolidar o no esta aportación. En este sentido, el uso de algoritmos matemáticos como las series de Fourier o el Análisis de Componentes Principales, habituales en los modelos ecológicos y su aplicación, podrían favorecer o enriquecer la significancia de nuestros errores, constituyendo ésta un área a experimentar y desarrollar en este sentido.

Por último, los resultados obtenidos abren la posibilidad de volver a evaluar la utilidad de los conjuntos de datos climáticos interpolados a partir de estaciones de campo con una resolución espacial media como una fuente de datos válida para realizar modelos de estimaciones del ciclo de vida de los artrópodos para escalas grandes y medias de trabajo. Estos conjuntos de datos ráster podrían ser también un recurso valioso para mejorar/calibrar los valores de las mediciones por satélite. Aunque de menor resolución espacial a priori que MODIS, la gran diversificación de la red terrestre y la homogeneización del resultado puede hacer útil dicho modelo constituyendo, del mismo modo, una vía de trabajo a consolidar.

BIBLIOGRAFÍA

- Austin, M.P., 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modeling, *Ecological Modelling*, 157, 101–118.
- Coll, C., Wan, Z. y Galve, J. M., 2009. Temperature-based and radiance-based validation for the V5 MODIS land-surface temperature product, *Journal of Geophysical Research*, 114, D20102.
- Dennis, D.T. y Piesman, JF. 2005. Overview of tick-borne infections of humans, En *Tick-borne Diseases of Humans*, editado por Goodman JL, Dennis DT y Sonenshine DE, Washington, D.C, ASM Press, 3–11.
- Dobson, A.D.M., Finnie, T.J.R y Randolph, S.E. 2011. A modified matrix model to describe the seasonal population ecology of the European tick *Ixodes ricinus*, *Journal of Applied Ecology*, 48 (4), 1017–1028.
- Estrada-Peña, A. y Venzal, J.M. 2007. Climate niches of tick species in the Mediterranean region: Modeling of occurrence data, distributional constraints, and impact of climate change, *Journal of Medical Entomology*, 44, 1130–1138.

- Guisan, A. y Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models, *Ecology Letters*, 8, 993–1009.
- Guisan, A. y Zimmermann, N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology, *Ecological Modelling*, 135, 147–186.
- Gray, J. S., Dautel, H., Estrada-Peña, A., Kahl, O. y Lindgren, E. 2009. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe, *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 2009: 593232
- Jaenson, T.G., Jaenson, D. G., Eisen, L., Petersson, E. y Lindgren, E. 2012. Changes in the geographical distribution and abundance of the tick *Ixodes ricinus* during the past 30 years in Sweden, *Parasites & Vectors*, 5:8.
- Jin, M.L. y Dickinson, R.E. 2010. Land surface skin temperature climatology: benefitting from the strengths of satellite observations, *Environmental Research Letters*, 5 (4), 044004.
- Mildrexler, D.J., Zhao, M. y Running, S.W. 2011. A global comparison between station air temperatures and MODIS land surface temperatures reveals the cooling role of forests, *Journal of Geophysical Research*, 116, G03025.
- Ostfeld R. S., Glass G. E. y Keesing F. 2005. Spatial epidemiology: an emerging (or re-emerging) discipline, *Trends in Ecology & Evolution*, 20, 328-336.
- Paddock, C.D. y Telford III, S.R. 2011. Through a glass, darkly: the global incidence of tick-borne diseases, En *Critical Needs and Gaps in Understanding Prevention, Amelioration, and Resolution of Lyme and Other Tick-Borne Diseases: The Short-Term and Long-Term Outcomes*, Washington (DC), National Academies Press (US), 221-266.
- Pavlovsky, E.N. 1966. *Natural nidality of transmissible disease*, Urbana, University of Illinois Press, 261 pp.
- Wan, Z. 2008. New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity products, *Remote Sensing of Environment*, 112, 59-74.