

## Evaluación de variables climáticas obtenidas mediante teledetección en el entorno de las aguas del archipiélago canario

Marrero-Betancort, N., Rodríguez-Esparragón, D., Marcello-Ruiz, F.J.

Instituto de Oceanografía y Cambio Global, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Unidad Asociada ULPGC-CSIC. Campus de Tafira, 35017, Las Palmas de Gran Canaria. España. nerea.marrero102@alu.ulpgc.es

**Resumen:** La adaptación ante el cambio climático es específica del lugar y del contexto de un territorio, por ello es imprescindible el conocimiento y desarrollo de bases científicas a escalas de mayor precisión espacial que permitan determinar con exactitud los posibles efectos e impactos asociados al cambio climático. De este modo, este trabajo aborda el procesamiento y análisis de datos de teledetección, para conocer los cambios producidos en los últimos 15 años en el entorno de las aguas de la Macaronesia, en concreto del archipiélago canario. Nuestro objetivo principal se basa en un estudio multitemporal de imágenes, con diferentes escalas temporales, para obtener e interpretar variables climáticas y oceánicas relacionadas con el cambio climático global.

**Palabras clave:** teledetección, cambio climático, Macaronesia, variables climáticas, variables oceánicas.

### *Evaluation of climatic variables obtained by remote sensing in Canary archipelago waters*

**Abstract:** Adaptation to climate change is specific to the place and context of a territory, therefore it is essential to know and develop scientific bases at scales of greater spatial precision that allow to determine accurately the possible effects and associated impacts of climate change. In this way, this work deals with the processing and analysis of remote sensing data, trying to understand the changes that have occurred for the last 15 years in the Macaronesia waters, specifically in the Canary archipelago. Our main objective is based on a multitemporal study of images, with different time scales, to obtain and interpret climatic and oceanic variables related to global climate change.

**Keywords:** remote sensing, climate change, Macaronesia, climate variables, ocean variables.

### 1. INTRODUCCIÓN

En el último resumen para responsables de políticas del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se confirma que el cambio climático es advertido en todo el planeta y que el calentamiento del sistema climático es inequívoco (IPCC, 2013).

Los océanos desempeñan un papel central en la regulación del clima de la Tierra, en particular en su variabilidad y cambio, a través de su capacidad para absorber y transportar grandes cantidades de calor (IPCC, 2013). En los últimos 50 años, los océanos del mundo han absorbido más del 90% del exceso de calor recibido por nuestro calentamiento planetario (Levitus et al. 2005).

Los espacios insulares, poseen una gran fragilidad ambiental, social y económica, pudiendo presentar alteraciones significativas ante el cambio climático. La transformación de estos aspectos en el caso de la región Macaronésica y, en especial, de Canarias, supone transformaciones tanto en las condiciones climáticas como en el incremento de los riesgos territoriales, derivados de un previsible aumento de la peligrosidad ante determinados fenómenos meteorológicos (Olcina-Cantos, 2012).

Un reciente estudio identificó los principales impactos derivados del cambio climático en Canarias, donde destacan: aumento de la temperatura media del mar, elevación del nivel del mar, acidificación del agua de mar, cambios en el *upwelling*, aumento de las intrusiones de polvo sahariano, desplazamiento estacional y cambios en

la dirección de los vientos, entre otros muchos impactos (Martín et al., 2015).

La observación de los océanos mediante el uso de sensores a bordo de satélites ha adquirido la madurez necesaria como para formar parte de diversas disciplinas científicas, entre ellas la meteorología y la oceanografía. El concepto de teledetección engloba no sólo la captura de las imágenes, sino también su tratamiento y análisis. Así, actualmente, el alto nivel de desarrollo de las técnicas de teledetección y de los métodos de procesamiento de datos han convertido la percepción de “simples imágenes de satélite” en medidas cuantitativas de variables relevantes para estudios marinos y medioambientales.

Por ende, el objetivo de este trabajo quiere unir la teledetección con conocimientos oceanográficos y meteorológicos, siendo su objetivo principal revelar los posibles cambios en la zona geográfica de la Macaronesia, en particular en las aguas circundantes del archipiélago canario, a partir de las contribuciones obtenidas del análisis y procesamiento de datos de teledetección.

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) el promedio clásico para estudiar una variable es de 30 años, sin embargo, en nuestro trabajo al querer abordar el estudio con datos de teledetección, los datos presentados tienen un rango temporal menor, 15 años. Por ende, nuestros resultados no son válidos con carácter de cambio climático, sino una estimación de lo ocurrido en estos últimos años.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Datos

Las Variables Oceánicas Esenciales (EOVs, por sus siglas en inglés) y las Variables Climáticas Esenciales (ECVs, por sus siglas en inglés) son variables físicas, químicas o biológicas que contribuyen críticamente a la caracterización de los océanos y el clima de la Tierra. Este concepto ha sido ampliamente adoptado en los círculos de ciencia y política (IFSOO 2012).

Para este estudio se ha escogido la temperatura superficial del mar (SST, por sus siglas en inglés), la concentración de clorofila (CHL-a), y el espesor óptico de los aerosoles (AOT, por sus siglas en inglés). Las imágenes tienen una resolución temporal anual y mensual. Este conjunto de datos tiene un procesamiento de nivel 3, y fueron obtenidas del sensor Aqua que transporta el satélite MODIS de la NASA. Las imágenes contienen una matriz de 8640 píxeles de longitud y 4320 píxeles de latitud, con una resolución geográfica de  $0,04^\circ \times 0,04^\circ$  ( $\approx 4,4 \text{ km} \times 4,4 \text{ km}$ ) y se proporciona en formato HDF5. En total son 45 imágenes anuales, de las cuales se han derivado otras 48 con los diferentes análisis realizados. Y un cómputo de 180 imágenes mensuales.

La región de interés abarca latitudes entre  $27^\circ\text{N}$  y  $30^\circ\text{N}$  y longitudes de  $11^\circ\text{W}$  a  $18^\circ\text{W}$ . Para nuestro estudio se ha escogido el periodo temporal entre enero de 2003 y diciembre de 2017.

### 2.2. Procesamiento

Para cada una de las imágenes globales que proporciona el sensor, se ha procedido a extraer el subconjunto de datos de interés para este estudio que corresponde al área geográfica mencionada en el apartado anterior.

Los datos anuales de las diferentes variables han sido sometidos a varios análisis. Por un lado, se han estudiado las imágenes de medias anuales, y las de anomalías anuales. Por otro lado, se han analizado las imágenes de tendencia media respecto al periodo de estudio.

En el caso de los datos mensuales se ha llevado a cabo un pre-procesamiento, consistente en la aplicación de un filtro para minimizar las alteraciones que sufre el sensor en periodos de alta cobertura de nubes. Una vez completado este paso, se han extraído series temporales de los distintos parámetros.

## 3. RESULTADOS

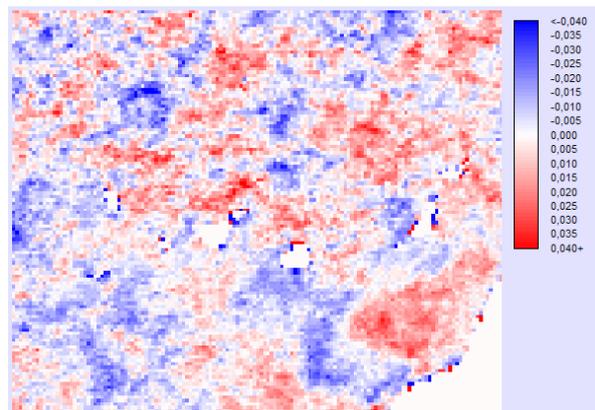
Debido a la gran cantidad de datos analizados, y por motivos de espacio, en este apartado sólo se presentan los resultados más relevantes.

### 3.1. Temperatura

La temperatura de la superficie del mar es la variable oceánica clave que determina el intercambio de calor entre los océanos y la atmósfera. Es uno de los parámetros básicos en la investigación y la predicción de la variabilidad climática y el cambio climático (Chelton y Wentz, 2005).

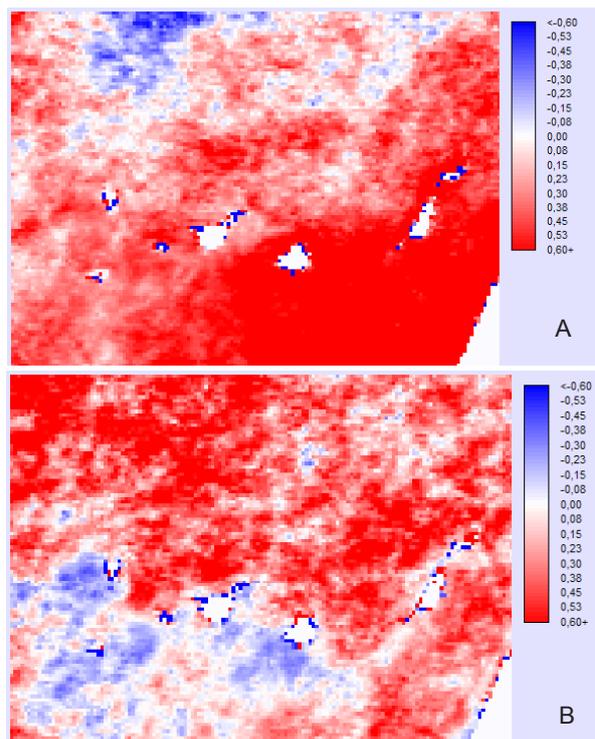
En este trabajo se ha visto que la tendencia anual media de la SST tiene una marcada componente espacial. Esto se observa en la figura 1, donde la diferencia de las tendencias medias entre el norte y el sur de cada una de las islas se acentúan más en las orientales (Gran Canaria,

Fuerteventura y Lanzarote). Este bipolo de SST norte-sur oscila aproximadamente entre  $-0,04^\circ\text{C}$  y  $0,04^\circ\text{C}$ .



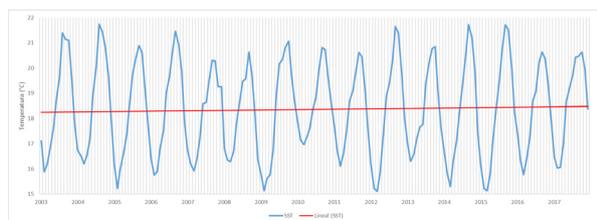
**Figura 1.** Tendencia media anual de SST ( $^\circ\text{C}$ ) respecto a la climatología de 2003-2017.

En las imágenes con una resolución temporal anual, podemos observar las variaciones interanuales de SST que han ocurrido en la zona de estudio. Estas variaciones interanuales de SST son causadas por fenómenos meteorológicos globales, como lo es la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés) que tienen implicaciones muy directas sobre los ciclos climáticos observados en el Hemisferio Norte. Por otra parte, en las imágenes de anomalías anuales, se puede observar cómo ha habido años anómalamente cálidos: 2003, 2004 y 2006, destacando los años 2010 y 2015. Estos últimos, llegan a sobrepasar los valores de  $0,60^\circ\text{C/año}$  (véase Figura 2). Sin embargo, para los años 2005, 2007, 2008 y 2017 ocurre todo lo contrario, las anomalías son negativas llegando a alcanzar valores de SST de  $-0,60^\circ\text{C/año}$ . Por otro lado, los años restantes 2009, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2016 muestran un bipolo norte-sur de anomalías.



**Figura 2.** Anomalías anuales de SST ( $^\circ\text{C}$ ) respecto a la climatología de 2003-2017. A) Año 2010 y B) Año 2015.

Además, se ha realizado un estudio de la temperatura media mensual para toda la zona de interés (véase Figura 3), donde se observa que hay una ligera tendencia positiva. Específicamente, la línea roja correspondiente a la figura 3 representa una pendiente positiva de valor 0,0013. Esta tendencia coincide con los estudios realizados por Cropper y Hanna (2014), los cuales desvelan un aumento de SST reciente (1981-2010) alcanzando 0,46°C/década como mínimo en las Islas Canarias. En consecuencia, la primera década del siglo XXI es la década más cálida registrada.



**Figura 3.** Serie temporal de los datos mensuales de SST (°C) en el periodo de estudio.

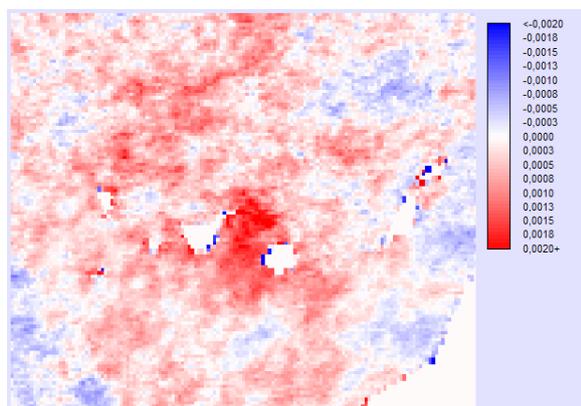
### 3.2. Clorofila-a

La concentración de CHL-a oceánica permite una estimación de la concentración de fitoplancton. Es un indicador básico de producción primaria.

La tendencia media anual de la CHL-a es positiva para toda la región de estudio, llegando a alcanzar 0,002 mg/m<sup>3</sup> por año, concentrándose los valores más altos entre las islas centrales, Gran Canaria y Tenerife (véase Figura 4).

Al analizar las imágenes anuales de CHL-a no hemos observado un marcado patrón interanual. Esto se debe a que la concentración de CHL-a en ambientes marinos es el resultado del movimiento de las masas de agua y de las condiciones de luz y nutrientes (Picado et al., 2013) y estos varían de un año a otro.

Las anomalías anuales más destacadas son la de los años 2011 y 2015, siendo anómalamente positiva y negativa, respectivamente.



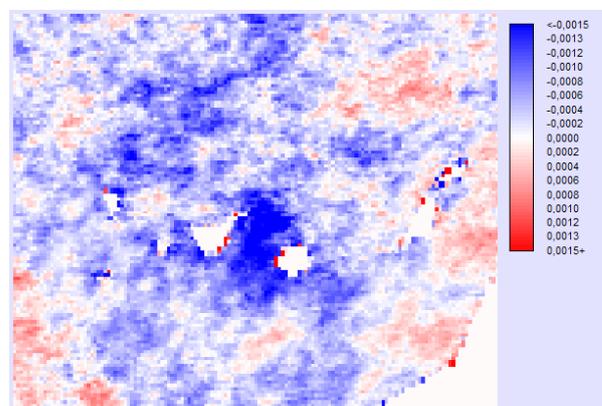
**Figura 4.** Tendencia media anual de la concentración de CHL-a (mg/m<sup>3</sup>) respecto a la climatología de 2003-2017.

### 3.3. Aerosoles

AOT es una medición de la dispersión y absorción de luz visible por las partículas presentes en una columna vertical de la atmósfera. Esta medida (adimensional)

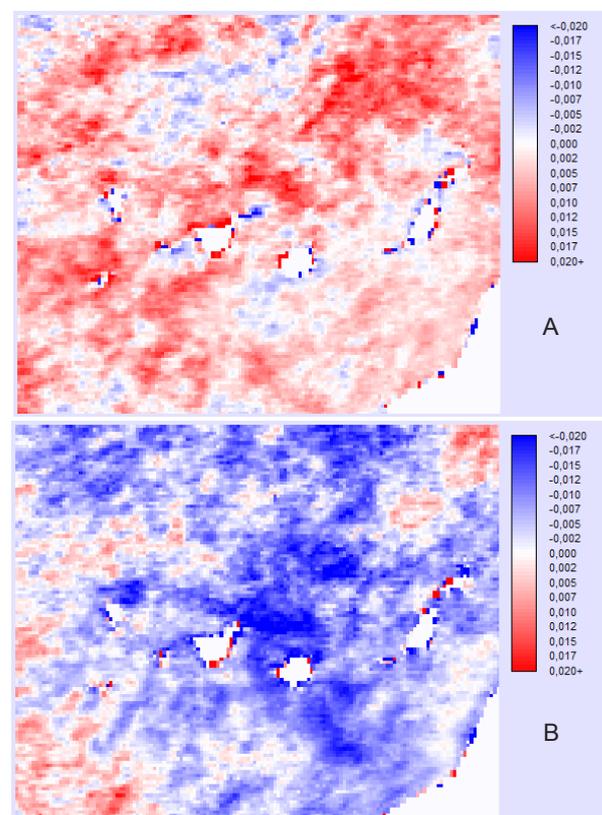
es útil para efectos de analizar la calidad del aire ya que es un valor proporcional a la concentración de partículas atmosféricas.

En comparación con las demás variables, en las imágenes anuales de AOT se puede identificar claramente una disminución de la cantidad de aerosoles presentes en la zona de estudio. Corroborándose con la tendencia media anual calculada (véase Figura 5).



**Figura 5.** Tendencia media anual de AOT respecto a la climatología de 2003-2017.

Varios estudios han demostrado que las variaciones interanuales en el transporte de polvo en el Sahara están relacionadas con fenómenos meteorológicos a gran escala. En el hemisferio norte, la NAO ejerce una gran influencia en el clima y su variabilidad (Hurrell y Deser, 2009). Esto podría dar explicación a las variaciones observadas en las imágenes anuales, además de las marcadas anomalías de los años 2011 y 2015 (véase Figura 6).



**Figura 6.** Anomalías anuales de AOT respecto a la climatología de 2003-2017. A) Año 2011 y B) Año 2015.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado diferentes variables climáticas con el objetivo de encontrar cambios significativos en las aguas del archipiélago canario, que pudieran ser relacionados con el cambio climático.

Las tendencias medias anuales respecto a la climatología de 2003-2017, nos han revelado que la SST tiende a aumentar en gran parte de nuestra zona de estudio. Esto también se ve reflejado en la serie temporal calculada. No obstante, creemos que al realizar la media mensual de SST para toda la región en conjunto, el valor medio de la tendencia se infravalora. Resultaría interesante, por tanto, estudiar con detalle el comportamiento de la SST para zonas específicas de interés.

En cuanto, a CHL-a la tendencia es positiva. Este resultado nos parece bastante anómalo, ya que existe una correlación muy bien estudiada que nos indica que, a temperaturas más frías del mar, mayores concentraciones de clorofila. Esto se podría deber a cambios en los fenómenos meteorológicos globales. Sin embargo, sería de gran interés abordar el estudio de la correlación de ambas variables con fenómenos a gran escala y sus posibles teleconexiones. Por otro lado, la tendencia de los AOT es claramente negativa.

El comportamiento de las variables analizadas es significativamente relevante en el año 2015. Por ende, un estudio a mayor resolución temporal sobre el comportamiento de las variables en este año sería interesante. Ya que nos aportaría una mejor interpretación de los resultados y mayores aportaciones a las explicaciones sobre las anomalías (véase Figuras 2B y 6B) observadas en este estudio.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Consejería de Economía, Industria, Comercio y Conocimiento del Gobierno de Canarias y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del proyecto PASTOR (PROID2017010072).

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Chelton, D.B., Wentz, F.J. 2005. Global microwave satellite observations of sea surface temperature for numerical weather prediction and climate research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86(8), 1097-1116.
- Cropper, T.E., Hanna, E. 2014. An analysis of the climate of Macaronesia, 1865–2012. *International Journal of Climatology*, 34(3), 604-622.
- Deser, C., Phillips, A.S. 2009. Atmospheric circulation trends, 1950–2000: The relative roles of sea surface temperature forcing and direct atmospheric radiative forcing. *Journal of Climate*, 22(2), 396-413.
- Lindstrom, E., Gunn, J., Fischer, A., McCurdy, A., Glover, L.K., Alverson, K., ... Clark, C. 2012. A framework for ocean observing. In *Framework concept and definition*. By the task team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing (IFSOO), UNESCO.

- IPCC. 2013. Paper presented at the 5th assessment report, the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Levitus, S., Antonov, J., Boyer, T. 2005. Warming of the world ocean, 1955–2003. *Geophysical Research Letters*, 32(2).
- Martín, J.L., Marrero, M.V., Del Arco, M., Garzón, V. 2015. Capítulo 53. Aspectos clave para un plan de adaptación de la biodiversidad terrestre de Canarias al cambio climático. In *los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*, pp. 573-580. Ed. by A. Herrero, M.A. Zavala, Madrid.
- Olcina-Cantos, J. 2012. Turismo y cambio climático: una actividad vulnerable que debe adaptarse. *Investigaciones Turísticas*, 4, 1-34.
- Picado, A., Alvarez, I., Vaz, N., Dias, J.M. 2013. Chlorophyll concentration along the northwestern coast of the Iberian Peninsula vs. atmosphere-ocean-land conditions. *Journal of Coastal Research*, 65(sp2), 2047-2053.