

DIFERENCIAS EN EL CLIMA QUE PRODUCE INCENDIOS FORESTALES Y DE OLAS DE CALOR EN VICTORIA, AUSTRALIA

Climate changes caused by bushfire and heatwave in Victoria, Australia

Pazmiño Daniel

Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Melbourne, Parkville, VIC, Australia
daniel.pazmino.v@gmail.com.
<https://orcid.org/0000-0001-8020-5476>

RESUMEN

Los incendios forestales y las olas de calor son peligrosas amenazas naturales en Australia. Ambos riesgos se caracterizan por anomalías de la temperatura del aire superiores al promedio climatológico. Sin embargo, el clima de incendios forestales y el de olas de calor se diferencian en algunos otros aspectos climatológicos. Este artículo compara los patrones del clima, asociados a estos dos tipos de eventos climatológicos extremos, en el estado de Victoria, Australia. Los resultados muestran que solo el 13 % de los incendios forestales, en esta región, co-ocurren con olas de calor. Desde un punto de vista sinóptico, la principal diferencia entre los dos eventos es la circulación de un frente frío y sus fuertes vientos asociados, en el día en que los incendios forestales ocurren. Adicionalmente, las olas de calor se caracterizan por patrones de humedad por sobre el promedio climatológico en el continente australiano, mientras que el clima de incendios forestales se presenta cuando en Australia existe sequía. En promedio, un patrón de “El Niño” persiste en el Océano Pacífico Tropical cuando ocurren incendios forestales en Victoria. Por otra parte, las olas de calor en esta región, ocurren generalmente en condiciones neutrales del fenómeno de “El Niño”. Los análisis de esta investigación usaron datos de estaciones meteorológicas y también de “reanálisis”. Estos hallazgos sugieren que usar patrones de fenómenos climatológicos remotos (como “El Niño”) asociados a incendios forestales, pueden incidir en mejorar las predicciones, por temporada del clima, que produce incendios forestales.

Palabras clave: peligro de incendios forestales; clima; riesgo; historia de incendios; prevención de incendios.

ABSTRACT

Forest fires and heat waves are dangerous natural threats in Australia. Both risks are characterized by air temperature anomalies above the climatological average. However, forest fire and heat wave climates differ in some other weather aspects. This article compares the weather patterns associated with these two types of extreme weather events in the state of Victoria, Australia. The results show that only 13% of forest fires in this region co-occur with heat waves. From a synoptic point of view, the main difference between the two events is the circulation of a cold front and its associated strong winds, on the day that forest fires occur. Additionally, heat waves are characterized by humidity patterns above the average climate on the Australian continent, while the forest fire climate occurs when there is drought in Australia. On average, an “El Niño” pattern persists in the Tropical Pacific Ocean when forest fires occur in Victoria. On the other hand, heat waves in this region generally occur in neutral conditions of the “El Niño” phenomenon. The analyzes of this research used data from meteorological stations and also from “reanalysis”. These findings suggest that using patterns of remote climatological phenomena (such as “El Niño”) associated with forest fires, may have an impact on improving the predictions, by season of the climate, that produces forest fires.

Keywords: fire danger; climate; risk; fire history; fire prevention.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales y las olas de calor son peligrosas amenazas naturales para Australia. En los últimos 100 años, las olas de calor fueron la principal amenaza natural para quienes habitan en este país Haynes et al. (2010). Los incendios forestales son: la cuarta amenaza natural más peligrosa en este país. Estos eventos también tuvieron importantes consecuencias para la economía australiana. Los incendios forestales son la tercera amenaza natural más destructiva McAneney et al. (2009). Estos eventos fueron los responsables del 20 % de daños a la propiedad, durante el período 1900 a 2003. Por otra parte, las olas de calor incrementan la demanda de energía, por su uso intenso, en los sistemas de aire acondicionado. Las olas de calor, también pueden afectar la integridad física de la infraestructura civil Boschat et al. (2014)–Pezza et al. (2012). Estos eventos producen impactos significativos para Australia. Por lo tanto, se han dedicado grandes esfuerzos para entender cómo se producen estos eventos. Los incendios forestales y las olas de calor se encuentran vinculados por aspectos meteorológicos. Sin embargo, en este estudio se demuestra que el clima que produce incendios forestales y el asociado a olas de calor, (paradójicamente) muestran importantes diferencias.

Las variables meteorológicas que, usualmente se asocian al clima de incendios forestales son: la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, y precipitación. Estas variables son controladas por patrones del clima de gran escala. Estos patrones presentan características particulares en diferentes regiones de Australia BoM (2009). Los patrones del clima, asociados a incendios forestales, tienen en común la advección de aire caliente y seco. Frecuentemente, la circulación de un frente frío en zonas proclives a incendios forestales es otra característica HaynesBradstock et al. (2012). Por ejemplo, el clima que produce incendios forestales, en el sudeste de Australia, se caracteriza por un centro de alta presión en la región del mar de Tasmania. Un fuerte frente frío que proviene del oeste también está usualmente presente BoM (2009). La circulación de un frente frío está asociada a fuertes vientos y cambios bruscos de dirección de este. Estas condicio-

nes pueden transformar un incendio forestal pequeño en una catástrofe. De hecho, Mills Mills (2005) demostró que un fuerte gradiente de temperatura al nivel de 850 hPa (asociado con la circulación de frentes fríos) está altamente correlacionado con incendios forestales extremos en Victoria, Australia.

Las características comunes de los incendios forestales y olas de calor en Victoria son el ambiente cálido y seco. Los vientos del norte asociados a un anticiclón en el mar de Tasmania se asocian a estas condiciones. Sin embargo, los precursores de estos eventos pueden ser muy diferentes.

Pezza et al. (2012). demostraron que un anticiclón (o centro de alta presión) en el mar de Tasmania es el principal precursor de las olas de calor en Victoria. En este estudio, las olas de calor se definen como cualquier evento que alcance tres o más días consecutivos con temperaturas máximas, iguales o superiores al percentil 90 de la media climatológica mensual. La temperatura mínima no debe caer por debajo del percentil 90, en el segundo y tercer día. Las olas de calor fueron asociadas con ciclones y anticiclones, usando un sistema de rastreo Murray and Simmonds (1991) para el período 1979-2008. La estabilidad del centro de alta presión en el mar de Tasmania mantiene la advección de aire seco, al sudeste de Australia. Esto impide la circulación de frentes fríos, lo cual hace a este centro de alta presión, un anticiclón que bloquea la circulación. Aunque existe una clara relación en incendios forestales y olas de calor, estos eventos no han sido investigados de forma integral.

Para entender la relación entre estos eventos, vale la pena revisar su conexión con uno de los precursores climáticos más importantes del clima de Australia: El Niño Oscilación del Sur (ENOS) Risbey et al. (2009)–Klingaman et al. (2013) a cold surge (CS). Varios estudios han investigado la relación entre ENOS y el clima de incendios forestales en Australia Williams y Karoly (1999)–Verdon et al. (2004). La mayoría de estos estudios aseveran que existe una relación significativa entre la fase “El Niño” de ENOS y el clima que produce incendios forestales. Sin embargo, la ocurrencia de incendios solo se encuentra, moderadamente asociada a ENOS en Victoria Harris et al (2013). Por otra parte, Perkins et al. Perkins et al. (2012) su-

gieren que las fases ENOS pueden modular la duración y amplitud de las olas de calor, a nivel mundial. No obstante, las olas de calor en el sudeste de Australia no se encuentran moduladas por la dinámica climática del trópico, esto ha sido corroborado para olas de calor en Melbourne Bosch et al. (2014).

Los incendios forestales ocurren en condiciones cálidas y secas que, por lo general acontecen durante las olas de calor. Intuitivamente se asume que los incendios forestales se dan durante o en los días subsiguientes a las olas de calor. El objetivo de este estudio es comparar los patrones climáticos de incendios forestales y olas de calor. La investigación se enfoca en el estado de Victoria, en el sudeste de Australia, durante el período 1961-2011. Este estudio es importante porque Victoria es una región que se ve afectada, frecuentemente, por severos incendios forestales y olas de calor.

Las diferentes secciones del artículo se organizan de la siguiente manera: la sección dos describe el área de estudio, la sección tres detalla las características de las bases de datos usadas en esta investigación, se establecen las metodologías de cálculo, incluyendo los análisis estadísticos, la sección cuatro presenta una comparación entre el clima de incendios forestales y olas de calor en Victoria, Australia; finalmente, la sección cinco discute los resultados y presenta las conclusiones del estudio.

Área de Estudio

Victoria se encuentra en el sureste de Australia entre las latitudes 34° 2' S a 39° 8' S (ver Figura 1). Este estado tiene una extensión de 227,618 Km² Sherbon (1975) y una población de 5.9 millones ABS (2016). Victoria tiene un clima templado, de acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen. En general, los veranos son cálidos y secos, mientras que los inviernos son fríos y húmedos. La precipitación en Victoria varía desde los 250 mm hasta 1,000 mm al año Luke y McArthur (1978).

Varios factores inciden en la susceptibilidad de esta región a incendios forestales. En primer lugar, su vegetación la hace muy propensa a este riesgo Williams (2012). El Eucalyptus (Myrtaceae) es la especie dominante en

sus boques Williams (2012), los mismos que cubren un tercio de su territorio Luke y McArthur (1978). Adicionalmente, es el área urbanizada más densamente poblada de Australia Williams (2012). Aunque Victoria representa solo el 5 % del territorio de este país Luke y McArthur (1978), el 24.7 % de su población reside en este estado. Esta región tiene una larga temporada de incendios forestales que abarca el verano austral, de diciembre a febrero BoM (2009), Luke y McArthur (1978).

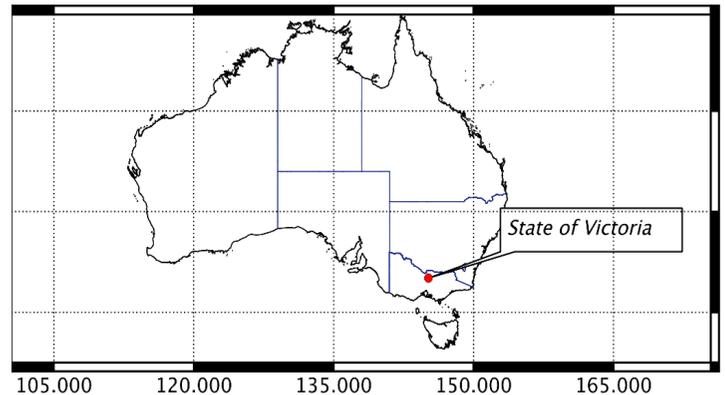


Figura 1: Ubicación de Victoria, Australia

DATOS Y MÉTODOS

Bases de Datos

El Departamento de Ambiente, Suelo, Agua y Planificación (DELWP por sus siglas en Inglés), que pertenece al Gobierno del Estado de Victoria, de forma continua actualiza una base de datos oficial de ocurrencias de incendios forestales. Esta es la principal base de datos usada en esta investigación. Para este estudio se define a un incendio forestal como todo evento que afectó al menos 10,000 hectáreas. Esta definición permitió probar la robustez de la información comparándola con una base de datos alternativa provista por el Centro de Investigación "Riesgos sin Fronteras". La base de datos "DELWP" registró 31 eventos durante la temporada diciembre-enero-febrero (DJF por sus siglas en Inglés) para el período 1961-2011. Las otras tres temporadas del año registraron 11 eventos durante el mismo período. Por lo tanto, el análisis se realizó para la temporada más propensa a incendios (diciembre-enero-febrero).

Los investigadores en Risk Frontiers (Universidad Macquarie) recopilaron una base de datos de sucesos de peligros naturales y consecuen-

cias. El nombre de la base de datos es “PeriLAUS”. Incluyendo eventos tales como ciclones tropicales, inundaciones e incendios forestales en Australia. La información abarca más de doscientos años, hasta el presente Haynes et al. (2010). Esta base de datos recopila información de los periódicos Sydney Gazette y Sydney Morning Herald Coates (1996). Estos periódicos empezaron a publicarse en 1803 y 1842, respectivamente. La información fue validada con periódicos locales e información oficial, cuando fue necesario Crompton et al. (2010). De acuerdo con Coates (1996), el subconjunto de incendios de esta base de datos fue, inicialmente desarrollado en 1991 con información de la “Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization” (CSIRO).

PeriLAUS establece dos tipos de datos de incendios forestales: reportes y eventos (M. Mason, comunicación personal, 16 de agosto, 2013). Debido a que la base de datos tiene un enfoque en el daño, un reporte de un incendio forestal registrado se refiere al daño en localizaciones particulares. Por otro lado, un evento de incendio forestal se refiere a la fecha cuando el incendio forestal sucedió – o empezó –, provocando daño en varias localizaciones. Por ejemplo, “Black Saturday” un incendio forestal catastrófico que ocurrió el 7 de febrero de 2009 tuvo 18 reportes en diferentes localizaciones de Victoria (e.g. St. Andrews, Weerite, Marysville). Sin embargo, este caso es catalogado como un solo evento de incendio forestal. Para propósitos de este proyecto, las fechas de eventos de incendios forestales de PeriLAUS serán utilizadas como una segunda base de datos de incendios forestales para los análisis porque se ajusta mejor a la definición climatológica (43 eventos en total para el periodo 1961-2011). Este método también ha sido utilizado en otras investigaciones para asociar incendios forestales con procesos climáticos individuales de gran escala. Bianchi et al. (2010) concluye que se destruyeron 8256 casas. Los cálculos estadísticos estandarizados fueron comparados meteorológicos y con los cálculos estandarizados de McArthur Forest Fire Danger Index (FFDI). Debido a que la información de esta base de datos fue principalmente recopilada de periódicos, la frecuencia de incendios forestales, en este periodo, es un reflejo de decesos humanos y daños a la propiedad, en lugar de la intensi-

dad del fuego (K. Haynes, comunicación personal, 13 de agosto, 2013).

El cálculo de eventos de olas de calor fue desarrollado, usando la base de datos de la “Australian Climate Observations Reference Network” (ACORN-SAT) Bianchi et al. (2010). El Australian Bureau of Meteorology (BoM) generó esta red, una base de datos de alta calidad. Las estaciones climáticas seleccionadas fueron: Melbourne Regional Office, Mildura, Nhill y Sale, debido a que estas tuvieron más archivos disponibles dentro del periodo 1961-2011. Para esta investigación, una ola de calor en Victoria es cualquier evento que satisfaga la definición de ola de calor, en las cuatro estaciones, simultáneamente.

Las olas de calor fueron calculadas utilizando dos definiciones. La primera definición está basada en índices de exceso de calor (EHIs por sus siglas en Inglés) Nairn y Fawcett (2013). En esta definición, el promedio del máximo y mínimo de la temperatura diaria (ADT) es utilizada para calcular dos subíndices. El primer subíndice estima un exceso de calor a corto plazo en el ambiente. Este es un índice de aclimatación calculado como la diferencia entre tres valores de ADT consecutivos y el promedio de los 30 días anteriores. El segundo subíndice representa un exceso de calor a largo plazo. Este es calculado como la diferencia entre tres valores de ADT consecutivos y el percentil 95 de todos los valores de ADT. El índice final es la multiplicación de la aclimatación EHI y el valor absoluto del subíndice de exceso de calor a largo plazo.

El segundo enfoque define la ocurrencia de una ola de calor cuando la temperatura máxima (T_{max}) y la temperatura mínima (T_{min}) exceden el percentil 90, para ese mes, durante tres y dos días consecutivos, respectivamente Pezza et al. (2012) Sadler et al. (2012). La definición de Pezza, fue seleccionada ya que describe mejor las olas de calor severas. Por lo tanto, solamente las olas de calor más severas, sobre el percentil 55, calculadas con la metodología de Nairn et al. (2009) fueron seleccionadas para la comparación. Con la metodología de Nairn et al. (2009) 14 eventos fueron detectados. La definición de Pezza et al. (2012) dio lugar a 17 eventos.

La investigación también manejó datos climáticos de productos de reanálisis. El Proyecto de

Reanálisis del Siglo XX (20CRV2) se utilizó en esta investigación. Esta base de datos proporciona promedios de seis horas con una resolución de 2×20 . McBride et al (2012). Adicionalmente, también se usaron datos de la base "Met Office Hadley Centre's sea ice and sea surface temperature" (SST) (HadISST1) McBride et al (2012). Esta base de datos produce mensualmente valores con una resolución de 5×50 .

Los datos de reanálisis tienen limitaciones intrínsecas comunes. Por ejemplo, menos observaciones en el hemisferio sur en comparación con el hemisferio norte. Además, no todas las variables están igualmente bien representadas. Sin embargo, los resultados recientes han demostrado que el 20CR representa bien el clima del sureste de Australia McBride et al (2012).

Cálculos

Se realizó un análisis compuesto para describir las condiciones generales (promedio) prevalecientes de Victoria. Las composiciones (conjunto de promedios) de anomalías diarias se calcularon para el día -5 al día +5, de cada evento de incendio forestal y ola de calor. Esto describe la evolución dinámica de cada fenómeno. Es importante destacar que los eventos de incendios forestales y de olas de calor se analizaron por separado. Por lo tanto, los eventos que tenían fechas coincidentes no se consideraron en los cálculos. Esta consideración cubrió la definición de las tres fechas de ola de calor más tres días posteriores. Esto cubrió los incendios forestales que podrían haber ocurrido, inmediatamente después de una ola de calor. Esta separación se realizó comparando los eventos de incendios forestales, de la base de datos DELWP, con las olas de calor calculadas con la metodología de Nairn y Ashcroft et al (2014). Para validar los resultados, todos los cálculos descritos en este artículo también se realizaron utilizando la base de datos de incendios forestales PerIAUS y la definición de ola de calor de Pezza et al. (2012). Los resultados que utilizan una segunda base de datos de incendios forestales y la definición de ola de calor son robustos y muestran solo pequeñas diferencias. Por lo tanto, solamente aquellos datos obtenidos con la base de datos de incendios forestales DELWP y con la definición de ola de calor de Nairn y Ashcroft et al (2014) son mencionados en la sección de resultados.

Finalmente, las composiciones de anomalías estacionales se calcularon para la primavera y el verano austral. Esto representa los patrones a gran escala en las temporadas de incendios forestales y de olas de calor anteriores y concurrentes. Las anomalías se probaron con una prueba "t de Student" con un nivel de significación del 5% y se indican anomalías significativas.

RESULTADOS

Valoración de los conjuntos de datos

Una evaluación inicial de las bases de datos de incendios forestales muestra que están moderadamente correlacionadas para el período de análisis 1961-2011 ($r = 0,44$, $p = 0,00$). Por otro lado, la comparación de la frecuencia de las olas de calor muestra que las dos definiciones describen diferentes episodios de olas de calor, ya que los resultados no están correlacionados ($r = 0,06$, $p = 0,68$). Este es un resultado inesperado. Esta falta de correlación revela que las definiciones de olas de calor son muy sensibles. En general, el enfoque de Pezza et al. (2012) describe mejor los eventos de olas de calor extremas, mientras que la definición de Nairn et al. (2009) captura mejor días anormalmente «calientes».

La disponibilidad de esta información permitió una comparación entre eventos de incendios forestales y de olas de calor. Solamente hubieron 4 eventos de incendios forestales que ocurrieron simultáneamente con olas de calor en Victoria; la base de datos de incendios forestales y la definición de ola de calor de Nairn's fueron utilizadas para esta comparación, como se describe en la sección de métodos. Este resultado significa que solo el 13% de los eventos de incendios forestales ocurren simultáneamente con olas de calor. Estos días comunes, como se muestra en la Tabla 1, se han excluido de la climatología. La separación produce una señal "pura" de incendios forestales y de patrones climáticos sinópticos de olas de calor.

Tabla 1 Una ola de calor y cuatro eventos de incendios forestales se excluyeron del análisis de anomalías para establecer una señal sinóptica "pura". Los eventos considerados fueron los que ocurrieron en las temporadas DJF (diciembre-enero-febrero por sus siglas en inglés)

durante el período 1961-2011 en Victoria, Australia. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning” (DELWP). Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos con los criterios de Nairn et al. (2009).

Tabla 1. Registros de incendios forestales

Olas de Calor	Incendios Forestales fechas
	2009-02-04
	2009-02-06
2009-02-03	2009-02-07
	2009-02-08

La frecuencia de los eventos de incendios forestales muestra una señal de clima discernible. En el ANEXO 1. SERIES DE TIEMPO DE INCENDIOS FORESTALES, OLAS DE CALOR Y EL SOUTHERN OSCILLATION INDEX (SOI) en Victoria, PERIODO 1961-2011. se ha incluido una serie de tiempo del Índice de Oscilación de Sur (SOI, por sus siglas en inglés). En las que se observan curvas polinomiales, las cuales muestran, que existe una clara asociación entre las décadas de los incendios forestales y el SOI. Sin embargo, la variabilidad interanual muestra solo una correlación débil (coeficiente R de -0.16 y -0.22 para eventos de incendios forestales y olas de calor, respectivamente).

Patrones meteorológicos para la climatología diaria

Las anomalías de la temperatura del aire (T) muestran diferencias entre eventos de incendios forestales y de olas de calor (ver ANEXO 2. ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE). Aunque los patrones son similares, las anomalías son más débiles para incendios forestales. Esto incluye el área cálida en el sureste de Australia. El patrón también muestra anomalías negativas observadas en Queensland y Australia Occidental. Las olas de calor muestran un frente frío en el día +4. Por otro lado, los incendios forestales muestran un frente frío en el día cero. Esto es consistente con los resultados de Mills (2005). Las anomalías de la temperatura del incendio forestal sobre Victoria (+3 oC) son más débiles que las ano-

malías de las olas de calor (+5 oC). Finalmente, la dinámica del clima de olas de calor es más estática que su contraparte de incendios forestales. Esto significa que, aunque los patrones son similares, las anomalías de las olas de calor permanecen en la misma posición, por más tiempo que las anomalías de los incendios forestales.

Las diferencias en humedad relativa (HR) son más reveladoras. El sureste de Australia muestra anomalías más secas durante las olas de calor (ANEXO 3. ANOMALÍAS DE LA HUMEDAD RELATIVA FIG. d a f). La humedad en el interior del continente está rodeada de anomalías secas, particularmente en el estado de Queensland (noreste de Australia). Durante los incendios forestales, la costa oriental se encuentra seca. Las anomalías se extienden a lo largo del “Great Dividing Range” (cadena montañosa al este de Australia). Victoria permanece más seca después del paso del frente frío para eventos de incendios forestales. Esto indica que la influencia del frente frío y seco es importante para desencadenar y propagar los incendios. Esto se puede ver en la Anexo 3. FIG c y Anexo 4. FIG c.

La altura geopotencial (a nivel de 500 hPa) muestra las diferencias más notables ANEXO 4. ANAMOLÍAS DE ALTURA GEOPOTENCIAL. Este anexo muestra que las olas de calor presentan un patrón de ola fuerte que conduce a un bloqueo alto sobre el mar de Tasmania. Este resultado concuerda con Pezza et al. (2012). Los incendios forestales se producen en asociación con una intensa señal de actividad frontal.

Anomalías de temperatura superficial del mar

Los incendios forestales se asocian con anomalías cálidas de la temperatura superficial del mar, en el Océano Pacífico tropical, durante los meses de diciembre a febrero. Estas anomalías también están presentes en el Océano Índico se evidencian en el ANEXO 5. ANAMOLÍAS DE TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR, en la Fig. (6a) del Anexo 6. En contraste, estas anomalías de calentamiento no están presentes en los eventos de olas de calor, en la Fig. (6b) del mismo anexo. El patrón sugiere la influencia de “El Niño” durante los incendios forestales. Las olas de calor parecen estar asociadas con condiciones neutrales de ENOS.

Patrones estacional de circulación atmosférica a gran escala

Un enfoque final, en esta investigación, fue explorar los patrones de circulación estacional a gran escala. El objetivo era comparar los patrones sinópticos de incendios forestales y olas de calor. El análisis incluyó los eventos ocurridos en la primavera (septiembre-noviembre) y el verano (diciembre-febrero).

El ANEXO 6. ANOMALIAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE (SON) y el ANEXO 7. ANOMALIAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE (DJF) muestran las anomalías de la temperatura del aire para las estaciones de primavera y verano, respectivamente. El Anexo 6 Fig (6a) muestra un patrón de “El Niño” que persiste en la temporada DJF, asociada con los incendios forestales. El Anexo 7 Fig. (7a). En contraste, las estaciones de olas de calor presentan un patrón similar a “La Niña”. Este patrón persiste en la temporada concurrente DJF (ver Anexo 6 Fig. (b) y Anexo 7 Fig. (b)).

El ANEXO 8. ANOMOLÍAS DE HUMEDAD RELATIVA (SON)) y el ANEXO 9. ANAMOLÍAS DE HUMEDAD RELATIVA (DJF) muestran las anomalías de humedad relativa. La figura (a) del Anexo 9 representa una Australia seca. Las anomalías negativas son más fuertes en la temporada DJF. Se encontró el patrón opuesto para las temporadas de olas de calor. Muestran anomalías positivas en esta región. Estos son más intensos en los meses siguientes (ver Anexo 8 Fig. (b) y Anexo 9 Fig. (b)). Esto sugiere que la baja humedad relativa es un precursor clave de los incendios forestales. También es un elemento concurrente. Por lo tanto, la HR puede ser más importante que la Temperatura, en la explicación de ocurrencias de incendios forestales.

DISCUSIÓN

Este artículo describe las diferencias entre los patrones climáticos de los incendios forestales y de las olas de calor, en Victoria, Australia. Adicionalmente, se ha explorado la relación de estos eventos con ENOS. Nuestros resultados muestran que los incendios forestales y las olas de calor son fenómenos distintos. Esto se afirma para el período 1961-2011 utilizando estaciones

meteorológicas y datos de reanálisis 20CRV2 para el período de estudio.

ENOS, incendios forestales y olas de calor

Hay un vínculo entre los eventos de “El Niño” y la actividad de incendios en Victoria. Los dos conjuntos de datos de incendios forestales coinciden en mostrar una mayor probabilidad de que ocurra un incendio forestal con “El Niño”. Las estadísticas básicas calculadas con los registros de incendios, utilizados en esta investigación muestran que, en un rango del 49% al 59% de los incendios forestales ocurrieron durante los eventos de “El Niño”. Además, la probabilidad de tener una temporada de incendios extremos coexistiendo con las condiciones de “El Niño” fue del 17.6%.

La moderada influencia de ENOS en la conducción de eventos de incendios forestales en Victoria ya ha sido documentada. Por ejemplo, esta influencia ha sido sugerida por Harris et al (2013). Sin embargo, ENOS tiene una mayor influencia sobre los incendios forestales en otras regiones de Australia. Esto fue corroborado por Nicholls y Lucas (2007) para Tasmania. Sadler et al. (2012) demostraron también una mayor influencia de “El Niño” sobre los incendios para el norte de Australia. Nuestros resultados son consistentes para las dos bases de datos utilizadas. Sin embargo, el corto período de análisis es una limitación. El desarrollo de una base de datos completa de incendios forestales para la primera mitad del siglo XX, en Victoria, sería una contribución científica interesante. Esto requeriría la investigación del historial de incendios y registros de paleoclimáticos. Desafortunadamente, este esfuerzo estaba fuera del alcance de esta investigación.

Por otro lado, usando las dos definiciones de olas de calor, no una relación significativa con alguna fase de ENOS. Utilizando la definición de Nairn y Fawcett (2013), es más probable que ocurran olas de calor durante condiciones neutrales de ENOS (38.5% de los eventos). En contraste, los resultados utilizando los criterios de Pezza (2012) que vinculan los eventos de olas de calor con los eventos de “La Niña” (53.8 % de los eventos). Sin embargo, los resultados obtenidos al utilizar la definición de Nairn y Fawcett (2013) concuerdan más con los hallazgos de patrones espaciales. Este resultado concuerda con Boschat et al. (2014). Nuestros resultados

muestran que esto es independiente de la definición de olas de calor adoptada. En contraste, Parker y McBride et al (2012) argumentan que las olas de calor en Victoria están influenciadas por las fases de “La Niña” de ENOS.

Patrones diarios de clima

Los diferentes patrones climáticos producen eventos de incendios forestales y olas de calor en Victoria, Australia. La característica clave del clima de incendios forestales extremos, en el sureste de Australia, son los frentes fríos McBride et al (2012). Por otro lado, un sistema de alta presión en el Mar de Tasmania es el patrón clave que produce las olas de calor en esta región (Pezza et al. (2012), Ashcroft et al (2014)). Su co-ocurrencia puede producir eventos catastróficos de incendios (Mills (2005), Nicholls y Lucas (2007)). Sin embargo, después de diferenciar los eventos de incendios forestales y de olas de calor, una climatología sinóptica muestra que prevalecen, sus diferencias entre estas dos clases de eventos.

Los incendios forestales y las olas de calor no suelen ocurrir simultáneamente en esta región. Los largos períodos de baja humedad relativa y el paso de frentes fríos contribuyen a la ocurrencia de incendios forestales. Estos patrones pueden tener una influencia mayor que el calor anómalo, a corto plazo, producido por las olas de calor. Estas condiciones sugieren que diferentes dinámicas producen estos dos tipos de eventos. La discusión de los mecanismos subyacentes se centrará en la influencia de los modos de variabilidad climática.

Discutir los patrones de altura geopotenciales puede ilustrar diferentes dinámicas en acción, durante incendios forestales y olas de calor. En general, las olas de calor muestran anomalías más fuertes que los incendios forestales. Los eventos de incendios forestales muestran fuertes anomalías positivas entre Australia y la Antártida. En contraste, los eventos de olas de calor presentan un tren de olas precursoras en el Océano Índico. Las anomalías de altura geopotencial, positivas en la Antártida, durante los días de clima de incendio, sugieren que la actividad frontal intensa asociada con los eventos de incendios extremos, está conectada a una fase negativa del Modo Anular del Sur. En contraste, los días de olas de calor muestran anomalías de presión más bajas de lo normal en

la misma región, que podrían estar vinculadas a la fase opuesta del Modo Anular del Sur (“SAM” por sus siglas en inglés”). Un SAM positivo contribuye a las condiciones atmosféricas estables en el sureste de Australia, haciendo que las olas de calor sean más intensas. Estas diferencias indican que el Modo Anular del Sur y la fuerza de los vientos del oeste, sobre el Océano del Sur, podrían desempeñar un papel importante en la conducción de estos dos tipos de eventos en una escala de tiempo diaria.

Patrones climáticos estacionales

Los incendios forestales y las olas de calor difieren en relación con la evolución del contenido de agua en la atmósfera, desde la primavera hasta el verano. El proceso de pre-condicionamiento que conduce a los incendios forestales es más intenso en comparación con su contraparte de las olas de calor. Victoria es una región seca de septiembre a febrero. Se ha asociado un Modo Dipolo del Océano Índico (“IOD” por sus siglas en Inglés”) positivo con este proceso. Una leve área de anomalías negativas en Victoria está presente en primavera, durante las olas de calor. Sin embargo, es importante destacar cómo el resto de Australia se vuelve más húmedo, desde la primavera hasta el verano. Los eventos de “La Niña” podrían tener una mayor influencia sobre el resto de Australia durante estas temporadas. Sin embargo, los episodios de olas de calor en Victoria parecen estar más influenciados por procesos regionales que requieren investigaciones adicionales.

CONCLUSIONES

Este documento ha establecido que los incendios forestales están asociados con condiciones de calor anómalas. Sin embargo, no están asociados con eventos extremos de olas de calor en Victoria, Australia. Los períodos prolongados de baja humedad relativa y frentes fríos contribuyen a la ocurrencia de incendios forestales. Esto puede tener una mayor influencia que el calor anómalo, a corto plazo, producido por las olas de calor.

El papel que el océano podría ejercer en la dinámica de los incendios forestales y las olas de calor es de particular importancia. La dinámica detrás de las diferencias entre estos fenómenos debería investigarse más, en esta dirección. Sadler et al. (2012) ya ha propuesto un expe-

rimento para medir el impacto de aplicar perturbaciones a la temperatura superficial del Mar de Tasmania, en el período previo a las olas de calor. Un enfoque similar para los incendios forestales no se ha propuesto en la literatura.

Finalmente, existe el potencial para diseñar una herramienta de pronóstico de incendios forestales para Victoria Harris et al (2013). Las áreas anómalas que se encuentran en nuestros compuestos estacionales, podrían usarse para diseñar y probar un índice estacional de incendios forestales. Dicho índice podría contribuir a anticipar las temporadas extremas de incendios forestales en Victoria. Además, el análisis de los patrones climáticos propicios a la ignición por tormentas eléctricas podría también demostrar habilidades de pronóstico y es una alternativa para futuras investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología e Innovación SENESCYT, del Ecuador; esta institución brindó apoyo financiero al autor, durante sus estudios de doctorado. Se reconoce a "Risk Frontiers" por proporcionar una de las bases de datos de incendios forestales, utilizados en este estudio. A. Pezza quisiera reconocer el financiamiento del Consejo de Investigación Australiano ("ARC por sus siglas en inglés") a través del "Discovery Project" número 120103950.

REFERENCIAS

ABS. (2016). VICTORIA. [Online]. Available: <http://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/Latestproducts/3218.0MainFeatures252013-14?open=document&tabname=Summary&prodno=3218.0&issue=2013-14&num=&view=>. [Accessed: 26-Jan-2016].

Ashcroft, L., Karoly, D. J. and Gergis, J. (2014). Southeastern Australian climate variability 1860- 2009: a multivariate analysis, *Int. J. Climatol.*, vol. 34, no. 6, pp. 1928–1944.

Blanchi, R., Lucas, C., Leonard, J. and Finkele, K. (2010). Meteorological conditions and wildfire-related house loss in Australia, *Int. J. Wildl. Fire*, vol. 19, no. 7, pp. 914–926.

BoM, Bushfire Weather. (2009). [Online].

Available: <http://www.bom.gov.au/weather-services>. [Accessed: 04-Dec-2015].

Boschat, G., Pezza, A., Simmonds, I., Perkins, S., Cowan, T. and Purich, A. (2014). Large-scale and sub-regional connections in the leap up to summer heatwave and extreme rainfall events in eastern Australia, *Clim. Dyn.*, pp. 1–18.

Bryant, C. (2008). Understanding bushfire: trends in deliberate vegetation fires in Australia.

Coates, L. (1996). An Overview of Fatalities from some Natural Hazards in Australia, in *Conference on Natural Disaster Reduction 1996: Conference Proceedings*, p. 49.

Compo G. P. et al., (2011). The Twentieth Century Reanalysis Project," *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 137, no. 654, pp. 1–28.

Cowan, T., Marine, C., Perkins, S., Pezza, A., Boschat, G. and Sadler, K. (2014). More frequent, longer and hotter heat waves for Australia in the 21st century Alexandre Pezza, Ghyslaine Boschat, and Katherine Sadler, *J. Clim.*, vol. 27, no. 15, pp. 5851–5871.

Crompton, R. P., McAneney, K. J., Chen, K., Pielke, R. a. and Haynes, K. (2010). Influence of Location, Population, and Climate on Building Damage and Fatalities due to Australian Bushfire: 1925-2009, *Weather. Clim. Soc.*, vol. 2, no. 4, pp. 300–310.

Harris, S., Nicholls, N. and Tapper, N. (2013). Forecasting fire activity in Victoria, Australia, using antecedent climate variables and ENSO indices, *Int. J. Wildl. Fire*.

Haynes, K., Handmer, J., McAneney, J., Tibbits, A. and Coates, L. (2010). Australian bushfire fatalities 1900-2008: exploring trends in relation to the 'Prepare, stay and defend or leave early' policy, *Environ. Sci. Policy*, vol. 13, no. 3, pp.185–194.

HaynesBradstock, R. A., Gill, A. M. and Williams, R. J. B. (2012). *Flammable Australia: Fire Regimes, Biodiversity and Ecosystems in a Changing World*. CSIRO Publishing.

Klingaman, N. P., Woolnough, S. J. and Syktus, J. (2013). On the drivers of inter-annual and

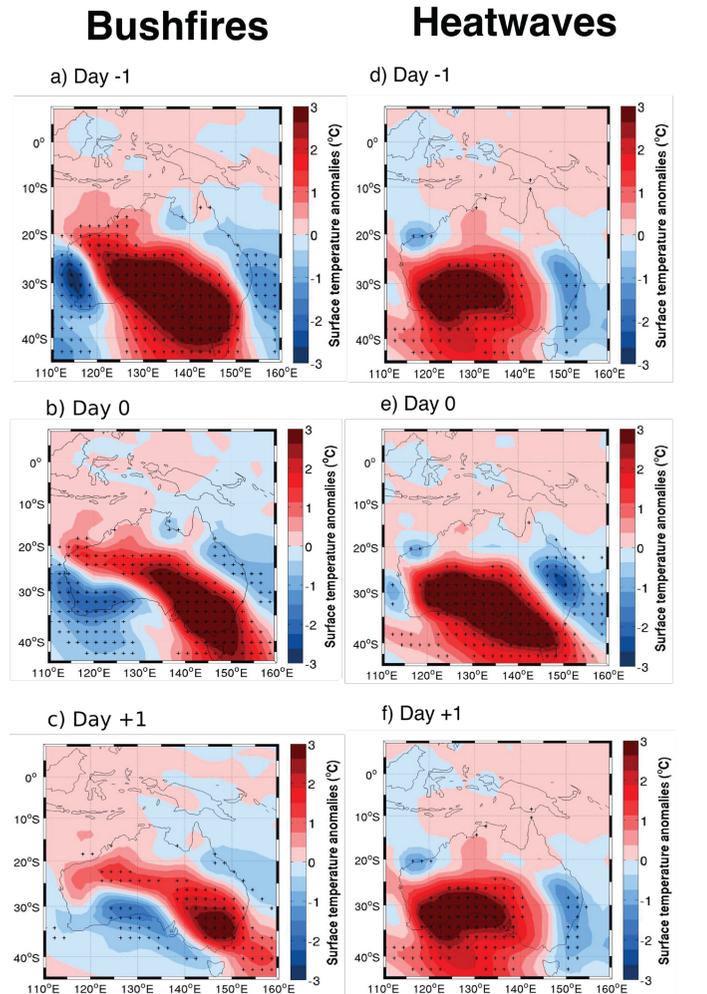
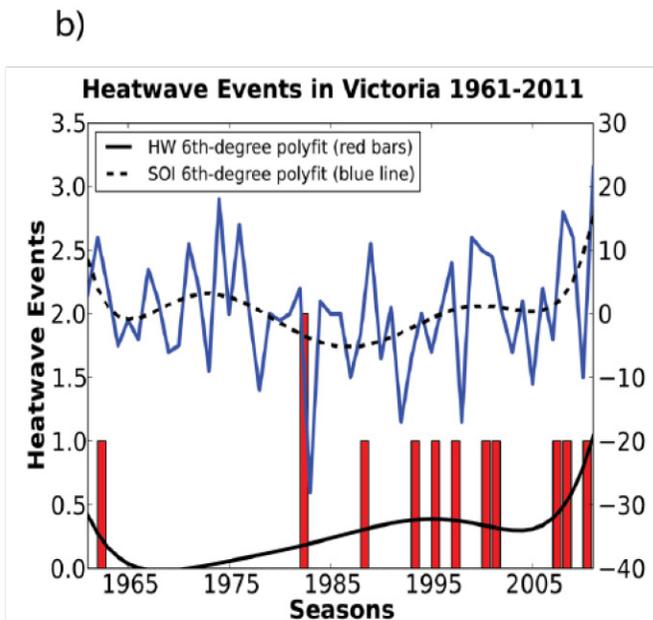
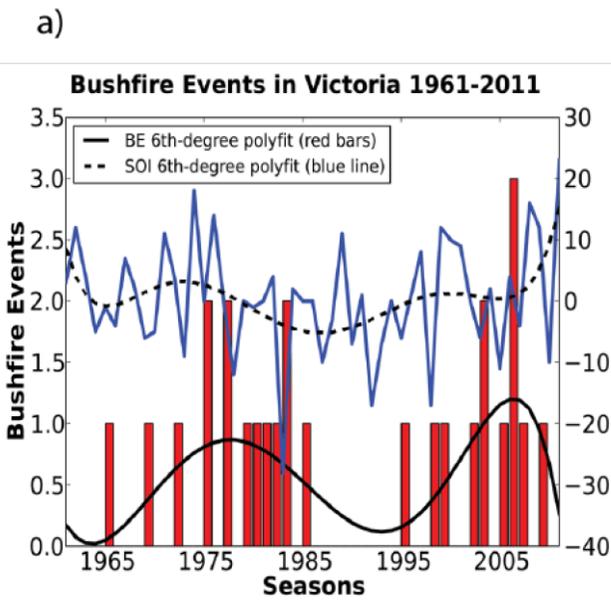
- decadal rainfall variability in Queensland, Australia, *Int. J. Climatol.*, vol. 33, no. 10, pp. 2413–2430.
- Lau N. C. and Nath, M. J. (2000). Impact of ENSO on the variability of the Asian-Australian Monsoons as simulated in GCM experiments, *J. Clim.*, vol. 13, no. 24, pp. 4287–4309.
- Lucas, C., Hennessy, K., Mills, G. and Bathols, J. (2007). *Bushfire Weather in Southeast Australia: Recent Trends and Projected Climate Change Impacts* CSIRO Marine and Atmospheric Research September 2007 Consultancy Report prepared for The Climate Institute of.
- Luke R. and McArthur, A. (1978). *Bushfires in Australia*. Canberra.
- McAneney, J., Chen, K. and Pitman, A. (2009). 100-years of Australian bushfire property losses: is the risk significant and is it increasing? *J. Environ. Manage.*, vol. 90, no. 8, pp. 2819–22.
- McBride, J. L., Mills, G. A. and Wain, A. G. (2009). *CAWCR Technical Report No. 071: Modelling and understanding high impact weather: extended abstracts of the third CAWCR Modelling Workshop, 30 november - 2 December 2009, Melbourne, Australia*.
- Mills, G. A. (2005). A re-examination of the synoptic and mesoscale meteorology of Ash Wednesday 1983, *Aust. Meteorol. Mag.*, vol. 54, pp. 35–55.
- Murray R. J. and Simmonds, I. (1991). A numerical scheme for tracking cyclones, *Aust. Meteorol. Mag.*, vol. 39, no. 3.
- Nairn J. and Fawcett, R. (2013). Defining heatwaves: heatwave defined as a heat- impact event servicing all community and business sectors in Australia, no. 060.
- Nicholls N. and Lucas, C. (2007). Interannual variations of area burnt in Tasmanian bushfires: Relationships with climate and predictability, *Int. J. Wildl. Fire*, vol. 16, no. 5, pp. 540–546.
- Perkins, S. E., Alexander, L. V. and Nairn, J. R. (2012). Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 39, no. 20, p. n/a-n/a.
- Pezza, A. B., Rensch, P. and Cai, W. (2012). Severe heat waves in Southern Australia: synoptic climatology and large scale connections, *Clim. Dyn.*, vol. 38, no. 1–2, pp. 209–224.
- Power, S., Casey, T., Folland, C., Colman, A. and Mehta, V. (1999). Inter-decadal modulation of the impact of ENSO on Australia, *Clim. Dyn.*, vol. 15, pp. 319–324.
- Rayner N. et al., (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century,” *J. Geophys. Res.*, vol. 108, no. D14, p. 4407.
- Risbey, J. S., Pook, M. J., McIntosh, P. C., Wheeler, M. C. and Hendon, H. H. (2009). On the Remote Drivers of Rainfall Variability in Australia, *Mon. Weather Rev.*, vol. 137, no. 10, pp. 3233–3253.
- Sadler, K., Pezza, A. and Cai, W. (2012). Cool sea surface temperatures in the Tasman Sea associated with blocking and heat waves, *Bull. Aust. Meteorol. Oceanogr. Soc.*, vol. 25, pp. 80–83.
- Sherbon, E. (1975). *Physiography of Victoria*. WHITCOMBE & TOMBS PTY. LTD.
- Trewin, B. (2013). A daily homogenized temperature data set for Australia, *Int. J. Climatol.*, vol. 33, no. 6, pp. 1510–1529.
- Verdon, D., Kiem, A. and Franks, S. (2004). Multi-decadal variability of forest fire risk - eastern Australia, pp. 165–171.
- White, C. J., Hudson, D. and Alves, O. (2013). ENSO, the IOD and the intraseasonal prediction of heat extremes across Australia using POAMA-2, *Clim. Dyn.*, pp. 1–20.
- Williams A. A. J. and Karoly, D. J. (1999). Extreme fire weather in Australia and the impact of the El Niño- Southern Oscillation, *Aust. Meteorol. Mag.*, vol. 48, no. 1, pp. 15–22.
- Williams, R. J., Gill, A. M. and Bradstock, R. A. (2012). *Flammable Australia: Fire Regimes, Biodiversity and Ecosystems in a Changing World*. CSIRO Publishing.

ANEXO 1. SERIES DE TIEMPO DE INCENDIOS FORESTALES, OLAS DE CALOR Y EL SOUTHERN OSCILLATION INDEX (SOI) en Victoria, PERIODO 1961-2011.

base de datos del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se definieron como el percentil 55 de los eventos computados utilizando la definición de ola de calor de Nairn y Ashcroft.

ANEXO 2. ANOMALIAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE

Air temperature anomalies (daily)



El panel a) muestra 27 eventos de incendios forestales y b) 13 olas de calor (barras rojas que representan eventos para la temporada diciembre-enero-febrero). Las series temporales de SOI se presentan como el promedio de la temporada diciembre-enero-febrero (líneas azules). Los valores mensuales de SOI se tomaron de la página web del “Bureau of Meteorology”.

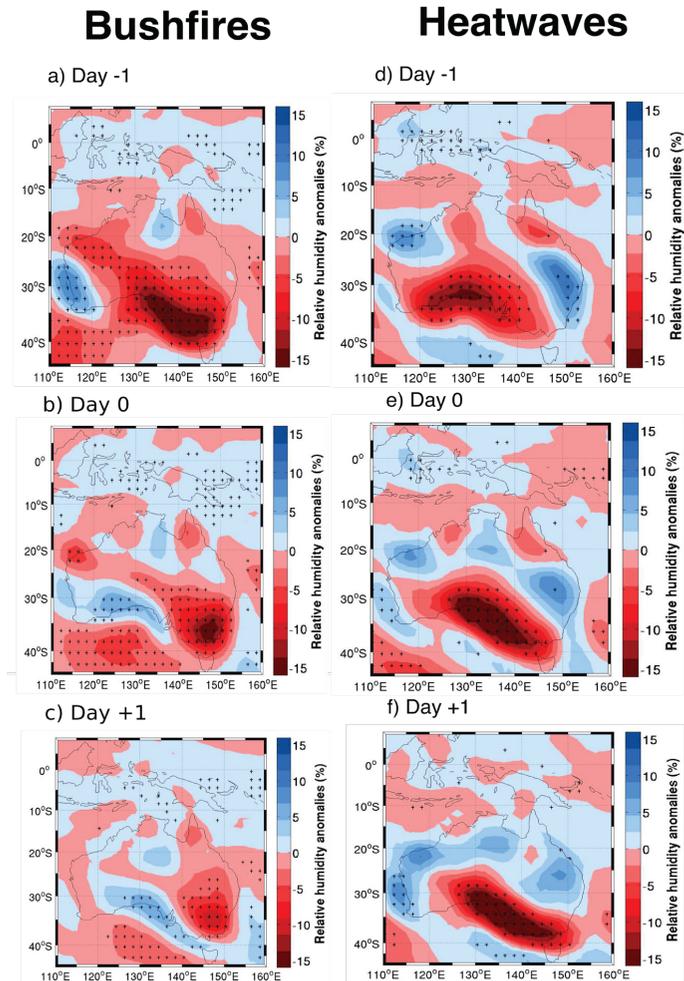
Las series temporales de incendios forestales, olas de calor y SOI se ajustaron a una curva polinomial de sexto orden (líneas negras). Los coeficientes R de los eventos de incendios forestales y de olas de calor con el SOI son -0.16 y 0.22 respectivamente. Los datos de eventos de incendios forestales se obtuvieron de la

Anomalías diarias de la temperatura del aire a nivel de 1000 hPa durante eventos extremos de incendios forestales (“Bushfires”) y olas de calor (“Heatwaves”) en Victoria, Australia, durante el período 1961-2010. Los paneles a), b), c), d), e) y f) muestran anomalías para el día -1 al día +1 de 27 eventos de incendios forestales y 13 de olas de calor, respectivamente. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Datos climáticos fueron obtenidos del “Twenty-first Century Reanalysis Project” (20CRV2). Las áreas marcadas con “+” muestran anomalías estadísticamente significativas en el nivel del 5%. Los frentes fríos y el exceso de calor per-

sistente caracterizan el clima extremo de fuego y el calor de las olas de calor respectivamente.

ANEXO 3. ANOMALÍAS DE HUMEDAD RELATIVA

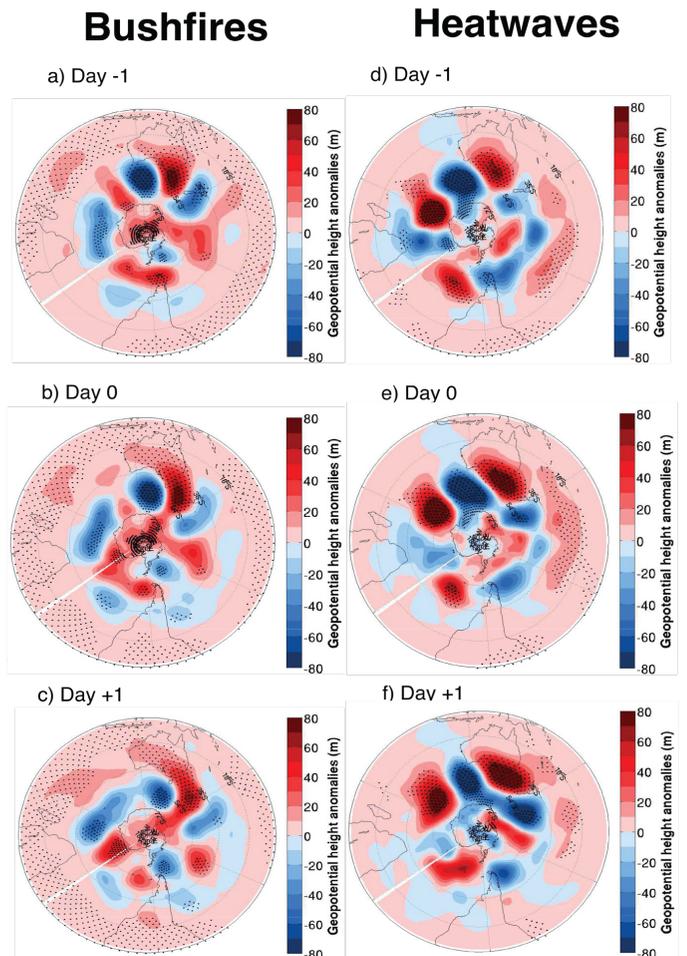
Relative humidity anomalies (daily)



Anomalías diarias de humedad relativa a nivel de 1000 hPa durante eventos extremos de incendios forestales y olas de calor en Victoria, Australia, durante el período 1961-2010. Los paneles a), b), c), d), e) y f) muestran anomalías para el día -1 al día +1 de 27 eventos de incendio forestal 8 (“Bushfire”) y 13 de ondas de calor (“heatwaves”), respectivamente. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos con los criterios de Nairn et al. (2009). Los datos climáticos fueron obtenidos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (20CRV2). Las áreas marcadas con “+” muestran anomalías estadísticamente significativas al nivel del 5%. El sur de Australia es seco durante los incendios forestales en Victoria, mientras que el continente muestra intensos contrastes seco-húmedos vinculados a las olas de calor en esta región.

ANEXO 4. ANOMOLÍAS DE ALTURA GEOPOTENCIAL

Geopotential height anomalies (daily)

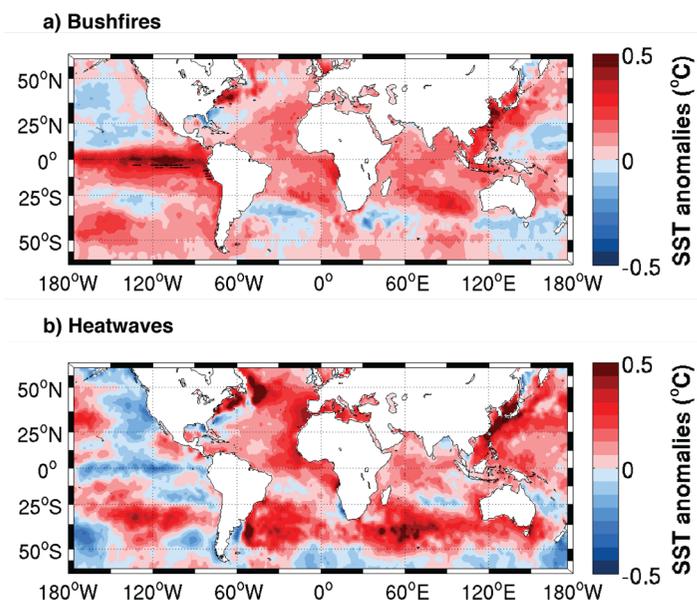


Anomalías diarias de la altura geopotencial a nivel de 1000 hPa durante eventos extremos de incendios forestales (“Bushfires”) y olas de calor (“Heatwaves”) en Victoria, Australia, durante el período 1961-2010. Los paneles a), b), c), d), e) y f) muestran anomalías para el día -1 al día +1 de 27 eventos de incendio forestal y 13 de onda de calor, respectivamente. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Los datos climáticos fueron obtenidos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (20CRV2). Las áreas marcadas con “+” muestran anomalías estadísticamente significativas en el nivel del 5%. Los incendios forestales muestran una intensa actividad frontal, mientras que las olas de calor muestran anomalías persistentes.

ANEXO 5. ANOMALÍAS DE TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR

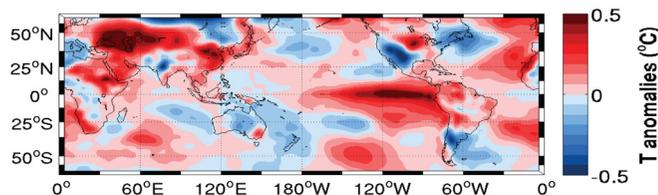
ANEXO 6. ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE (SON)

Sea surface anomalies anomalies (DJF)

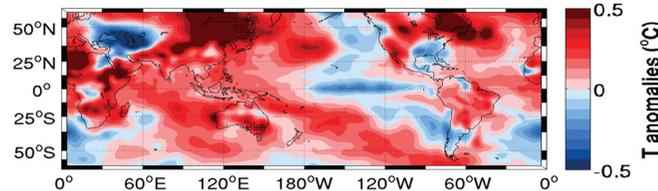


Anomalías en la temperatura de la superficie del mar (TSM) compuestas de a) 18 incendios forestales (“Bushfires”) y b) 12 temporadas de olas de calor (“heatwaves”) ocurridas en Victoria, durante la temporada diciembre-enero-febrero (DJF) para el período 1961-2011. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Los datos climáticos fueron obtenidos a partir del conjunto de datos de datos de la temperatura de la superficie del mar y el hielo marino del Met Office Hadley Centre (HadISST1). Las áreas sombreadas muestran anomalías estadísticamente significativas al nivel del 5%. Las temporadas de incendios extremos en Victoria muestran un claro patrón de “El Niño”, mientras que las olas de calor muestran una condición neutral.

a) Bushfires



b) Heatwaves

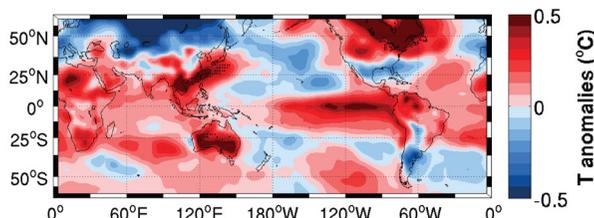


Composición estacional para anomalías de la temperatura del aire (T) (a nivel de 1000 hPa) para a) 18 incendios forestales (“Bushfires”) y b) 12 temporadas de olas de calor (“Heatwaves”) ocurrieron en Victoria durante la temporada de septiembre-octubre-noviembre (SON) para el período 1961-2011. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Los datos climáticos fueron obtenidos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (20CRV2). Las áreas sombreadas muestran anomalías estadísticamente significativas al nivel del 5%. Las temporadas de incendios extremos en Victoria muestran un patrón similar a “El Niño”, mientras que las olas de calor muestran una condición neutral

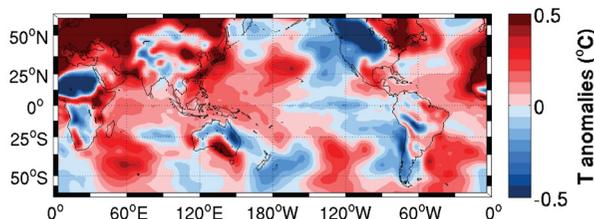
ANEXO 7. ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE (DJF)

Air temperature anomalies (DJF)

a) Bushfires



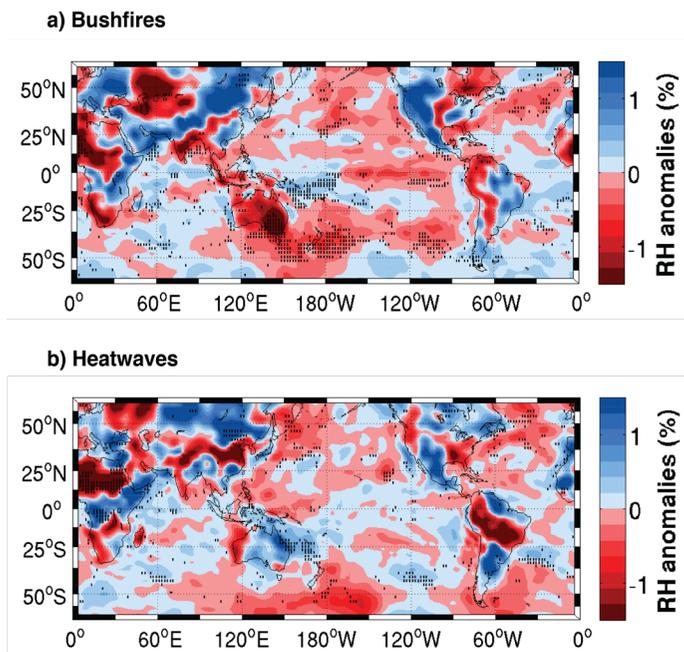
b) Heatwaves



Composición estacional para anomalías de la temperatura del aire (T) a (nivel de 1000 hPa) para a) 18 incendios forestales (“Bushfires”) y b) 12 temporadas de olas de calor (“heatwaves”) ocurrieron en Victoria durante la temporada diciembre-enero-febrero (DJF) de 1961-2011. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Los datos climáticos fueron obtenidos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (20CRV2). Las áreas sombreadas muestran anomalías estadísticamente significativas al nivel del 5%. Australia es un continente “caliente” durante las temporadas de incendios extremos en Victoria, mientras que las olas de calor muestran contrastes fríos y cálidos.

ANEXO 8. ANAMOLÍAS DE HUMEDAD RELATIVA (SON)

Relative humidity anomalies (SON)

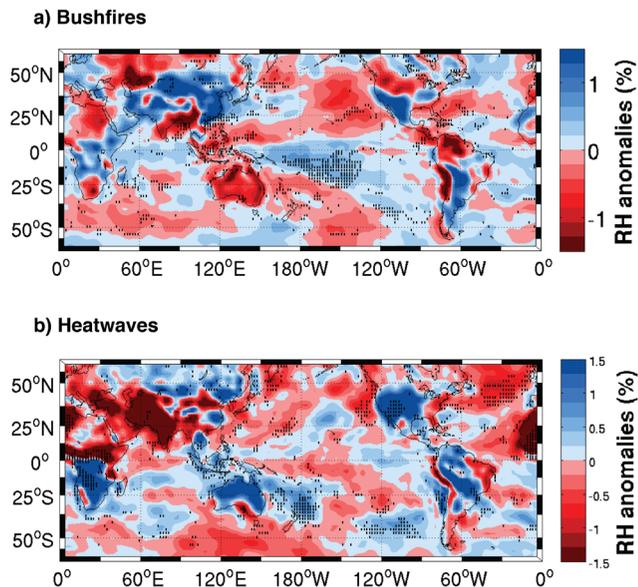


Composición estacional para anomalías de humedad relativa (HR) (a nivel de 1000 hPa) para a) 18 incendios forestales (“Bushfires”) y b) 12 temporadas de olas de calor (“Heatwaves”) ocurridas en Victoria durante la temporada de septiembre-octubre-noviembre (SON) desde 1961-2011. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Los datos climáticos fueron obtenidos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (20CRV2). Las áreas sombreadas

muestran anomalías estadísticamente significativas al nivel del 5%. Australia está seca durante la temporada de incendios antecedente en Victoria, mientras que las condiciones de humedad prevalecen en el continente vinculado a las olas de calor en esta región.

ANEXO 9. ANAMOLÍAS DE HUMEDAD RELATIVA (DJF)

Relative humidity anomalies (DJF)



Composición estacional para anomalías de humedad relativa (HR) (a nivel de 1000 hPa) para a) 18 incendios forestales (“Bushfires”) y b) 12 temporadas de olas de calor (“Heatwaves”) ocurridas en Victoria durante la temporada de diciembre-enero-febrero desde 1961-2011. Los registros de incendios forestales provienen del “Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP)”. Las olas de calor se calcularon utilizando el percentil 55 de los valores definidos. Los datos climáticos fueron obtenidos del Proyecto de Reanálisis del Siglo XX (20CRV2). Las áreas sombreadas muestran anomalías estadísticamente significativas al nivel del 5%. Durante la temporada de incendios concurrente en Victoria Australia es seco. En contraste, durante las olas de calor, la mayor parte del continente está húmedo (excepto el sur de Australia).