

EVALUACION DEL PELIGRO PRODUCIDO POR VIENTOS SEVEROS UTILIZANDO VELOCIDADES DE VIENTO EXTRAIDAS DE SIMULACIONES CLIMATICAS

Luis A. Sanabria y Robert P. Cechet

Geoscience Australia, Canberra, Australia, augusto.sanabria@ga.gov.au, <http://www.ga.gov.au>

Palabras Clave: Periodo de retorno, vientos sinópticos, simulaciones climáticas.

Resumen. Los vientos severos constituyen uno de los mayores peligros naturales que afectan a Australia. Los mayores contribuyentes a los daños en edificaciones en Australia son los huracanes, las tormentas convencionales y las tormentas subtropicales o tormentas sinópticas. El grupo de Análisis de Riesgo e Impacto de Geoscience Australia (RIAG) desarrolla modelos matemáticos para estudiar un buen número de peligros producidos por fenómenos naturales incluyendo peligros producidos por vientos Fuertes (M. Middelman, Geoscience Australia, GeoCat #65444, 2007).

Uno de los modelos que se han desarrollado recientemente en RIAG es un modelo para evaluar el peligro producido por vientos severos basado en velocidades extraídas de modelos climáticos. Los resultados producidos por este modelo tienen ciertas ventajas sobre los modelos convencionales basados en registros de estaciones de viento: en primer lugar permiten evaluar este tipo de peligros naturales no solo en donde está localizada la estación de medida sino en una región mucho más amplia. En segundo lugar permiten evaluar este tipo de peligros en un tiempo futuro y más importante aun, permiten considerar el impacto de los cambios climáticos en el peligro producido por este tipo de fenómeno.

En este artículo presentamos las características básicas del modelo y discutimos algunos de sus resultados utilizando 2 escenarios del IPCC: escenario B1, un escenario basado en bajas emisiones de gases de efecto invernadero y escenario A2, un escenario que considera altas emisiones de este tipo de gases (IPCC, 4th Ass. Report 2007). Para ilustrar la metodología utilizada se presentarán resultados considerando el clima presente y el clima futuro en el estado australiano de Tasmania, una isla al sur de la Australia continental.

Es importante anotar que en este artículo nos referimos solo a ráfagas producidas por vientos sinópticos (los sistemas climáticos de latitudes medias) puesto que el modelo climático solo puede calcular el viento a una resolución de 14 km que no alcanza a incluir tormentas. Los peligros producidos por huracanes y tormentas son estudiados utilizando otros modelos que se están desarrollando en RIAG en este momento (R. Cechet et al., Proc. Comp. Wind Eng. 2010).

1 INTRODUCCION

El gobierno Australiano publicó en abril del 2004 una monografía sobre el riesgo que ciertos fenómenos naturales ponen al continente australiano. En la monografía propone un nuevo enfoque dejando de lado la filosofía de aliviar y gastar dinero en la recuperación de las localidades afectadas y mas bien mitigar los efectos del desastre basándose en estudios detallados, maximizando los recursos disponibles (DOTARS, 2004). En este contexto Geoscience Australia (GA) ha estado desarrollando modelos matemáticos de riesgo y otras técnicas para estudiar las pérdidas potenciales que fenómenos naturales de impacto súbito ponen a las poblaciones australianas (Middelmann, 2007).

Uno de los mayores peligros naturales en Australia es el viento severo. En los estados del norte del país este peligro es producido por huracanes, mientras que en los estados del sur vientos no huracanados producidos por bajas sinópticas, tormentas y tornados son los mayores peligros. Chen (2004) ha calculado que los desastres producidos por el viento constituyen cerca del 40% de los daños a edificaciones en Australia durante el siglo pasado.

En este artículo se presenta la metodología desarrollada para evaluar el peligro producido por vientos de tipo sinóptico en las regiones no afectadas por huracanes en Australia. El modelo fue desarrollado inicialmente utilizando registros de estaciones de viento localizadas en el sureste australiano (que tienen anemómetros de la red del Bureau of Meteorology, BoM) y más tarde fue extendido a velocidades de viento producidas por un modelo climático de alta resolución. El modelo climático de alta resolución usado en este proyecto es el Conformal Cubic Atmospheric Model (CCAM) desarrollado por el centro de investigación australiano CSIRO (McGregor, 2001). La utilización de velocidades calculadas por este modelo climático nos permite analizar el peligro producido por vientos sinópticos sobre una región y más importante, nos permite evaluar el impacto de los cambios climáticos sobre este tipo de peligro natural.

Para ilustrar la metodología se presentarán evaluaciones del peligro producido por el viento en el estado australiano de Tasmania considerando el clima presente y futuro. El Estado de Tasmania es una isla al sur de la parte continental de Australia. Solo se presentarán resultados de vientos sinópticos puesto que CCAM calcula el promedio horario de viento (calculado a intervalos de 5 minutos) con una resolución de 14 km que es muy baja para incluir tormentas).

2 DESCRIPCION DEL MODELO

El modelo para estudiar el peligro producido por vientos sinópticos esta compuesto de 3 módulos que han sido desarrollados en GA en años recientes:

- un modulo estadístico que calcula el peligro de la velocidad del viento
- una técnica para extraer velocidades y dirección de viento de CCAM y
- una simulación de Monte Carlo para calcular la velocidad de las ráfagas de viento basándose en los valores promedio extraídos anteriormente.

Las observaciones de velocidad de viento usadas para validar el modelo fueron extraídas de archivos suministrados por BoM en intervalos de media hora. La velocidad promedio en estos archivos es el promedio de la velocidad de los últimos 10 minutos del intervalo y la velocidad de ráfaga es la máxima velocidad en los últimos 10 minutos del intervalo (la velocidad de ráfaga registrada es el promedio de 3 segundos).

2.1 Modulo estadístico

La base del modelo estadístico es el cálculo del peligro producido por el viento usando funciones estadísticas para modelar valores extremos (Distribuciones de Valores Extremos o DVE). El peligro es cuantificado usando el concepto de valor promedio anual del intervalo de recurrencia, mas comúnmente conocido como periodo de retorno (PR). Si se utiliza el máximo anual para estos estudios, el período de retorno es simplemente la probabilidad de que el valor dado de velocidad sea excedido en promedio una vez por año. Por ejemplo si la probabilidad anual de exceder cierto valor de velocidad es 0,025, este valor será excedido en promedio una vez cada 40 años (Coles, 2001). El modelo usa la Distribución Generalizada de Pareto (DGP) para calcular el PR de velocidades máximas diarias. El modelo usa un algoritmo avanzado desarrollado en GA para fijar la DGP a los archivos de velocidad dados (Sanabria y Cechet, 2007).

2.2 Técnica para extraer la velocidad y dirección del viento de CCAM

Las simulaciones climáticas utilizadas en estos estudios fueron desarrolladas por el proyecto Climate Futures for Tasmania (CFT). El equipo que llevo acabo el CFT hizo una reducción dinámica de escala a 6 modelos climáticos de circulación general acoplados (MCCGA) usando CCAM. La Tabla 1 presenta una descripción de este conjunto de modelos climáticos. Las simulaciones para Tasmania en el periodo 1961 a 2100 fueron generadas con resolución de 0.1 x 0.1 grados (Corney et al. 2010). En adición a esto, cada uno de los MCCGA fue forzado por 2 escenarios del IPCC: B1 and A2 (IPCC, 2007).

Para este proyecto velocidades de viento promedio horario (a 10 m de altura, terreno abierto) de cada uno de los MCCGA fueron extraídas. Seguidamente las velocidades horarias promedio fueron transformadas en velocidades diarias tomando el máximo de las velocidades promedio en cada celda de la malla considerada, utilizando el paquete "zoo" del programa estadístico "R" (Zeileis and Grothendieck, 2005). Finalmente estas velocidades promedio diarias fueron transformadas a velocidades máximas diarias de ráfaga usando una simulación de Monte Carlo.

2.3 Cálculo de la velocidad de ráfaga usando la simulación de Monte Carlo (MC)

La simulación de MC trabaja simulando la física de la generación de ráfagas de viento. Se asume que la ráfaga es el resultado de la deflexión de unos paquetes de aire que flotan muy alto en la capa límite y que son halados hacia abajo por una turbulencia Eddy (Brasseur, 2001). El método representa separadamente la velocidad de viento promedio y la turbulencia de la atmosfera. Esta turbulencia es modelada por el Factor de Ráfaga (FR). Matemáticamente el proceso consiste en la convolución numérica (combinación de funciones probabilísticas) de las velocidades promedio y el FR para producir las velocidades de ráfaga, que son los valores de interés en el estudio de los peligros producidos por el viento (Sanabria y Cechet, 2010). La implementación de la simulación de MC en mallas conlleva 3 pasos:

- cálculo de un factor representativo de ráfaga en la región considerada
- extracción de las velocidades promedio en cada celda de la malla, y
- cálculo de las velocidades de ráfaga correspondientes por simulación de MC

El FR se define como la razón entre la velocidad de ráfaga y las velocidades promedio para el mismo período, es este caso usamos los registros con intervalos de media hora suministrados

por BoM. En un intento de capturar las características regionales de Tasmania, calculamos el FR de los registros de 3 estaciones localizadas en este Estado. Estas estaciones fueron seleccionadas porque la estación y sus instrumentos de medida están localizadas en aeropuertos, evitando así la distorsión introducida por árboles o edificios que se pudieran construir cerca a la estación y porque además estas estaciones tienen el tipo de registros que necesitamos para este trabajo (máxima ráfaga diaria y archivos en intervalos de media hora). Para mostrar las características de las velocidades de viento en estas estaciones, la rosa de los vientos en cada estación, utilizando las máximas ráfagas diarias, se presentan en la Fig. 1. Los registros de las 3 estaciones seleccionadas se unieron para formar una súper-estación para calcular un FR regional que se utilizó en todas las celdas de Tasmania, ver la Fig. 2. Este es el FR que se utilizó en la simulación de MC.

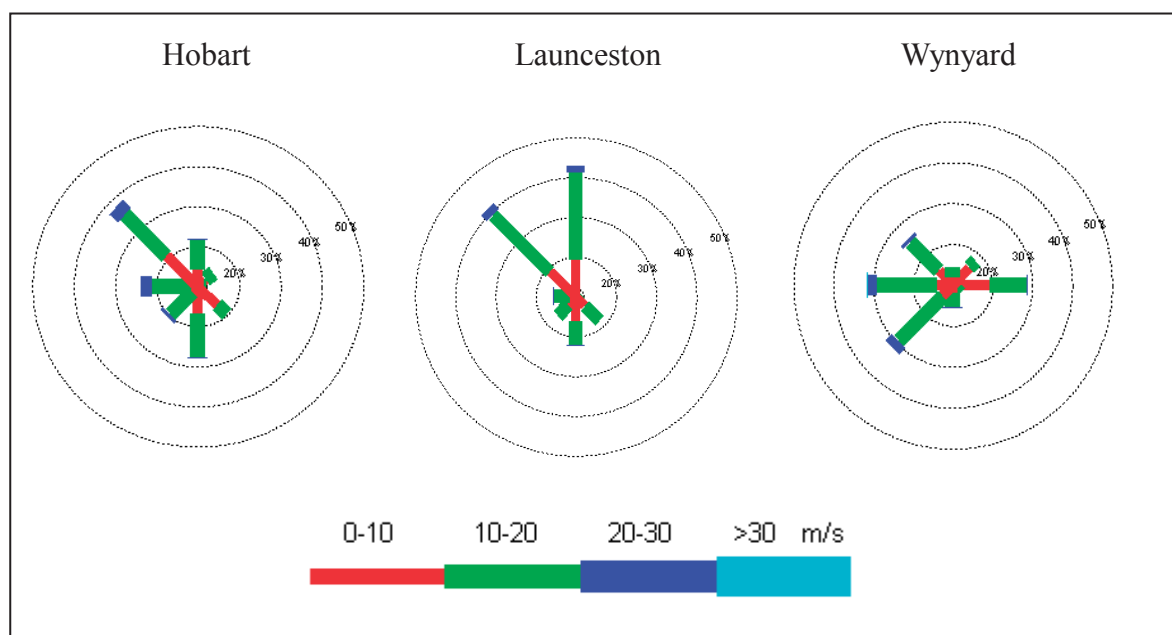


Figura 1. Rosa de los vientos en las 3 estaciones utilizadas en este trabajo.

3 RESULTADOS

3.1 Considerando el clima presente

La metodología descrita anteriormente se aplicó a la malla que representa a Tasmania para obtener PR de velocidades de ráfaga considerando el clima presente. Para cada celda de la malla se extrajeron velocidades promedio de las simulaciones de CCAM para el periodo 1961-1990. Después se generaron velocidades de ráfaga representativas en cada celda usando la simulación de MC y finalmente se calcularon PR de 50 a 2000 años usando la DGP.

Para corregir el sesgo (bias) que existe al comparar valores promediados sobre un área, como son los valores de simulaciones climáticas, y valores de registros localizados en un punto (estación de medida), el PR calculado de observaciones en las 3 estaciones seleccionadas se comparó con el PR calculado de las simulaciones en el mismo sitio. Un factor de corrección se calculó como la razón del PR de las observaciones y el PR de las simulaciones de CCAM. Seguidamente los PR calculados en cada celda fueron multiplicados

por este factor de corrección para forzar al PR de las simulaciones a ser similar al PR de las observaciones para el clima presente.

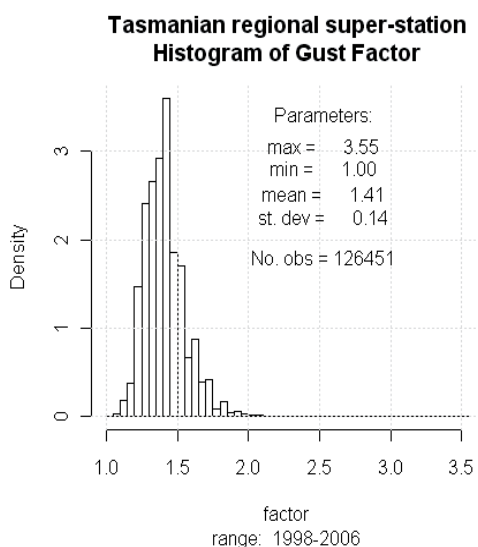


Figura 2. FR regional para Tasmania.

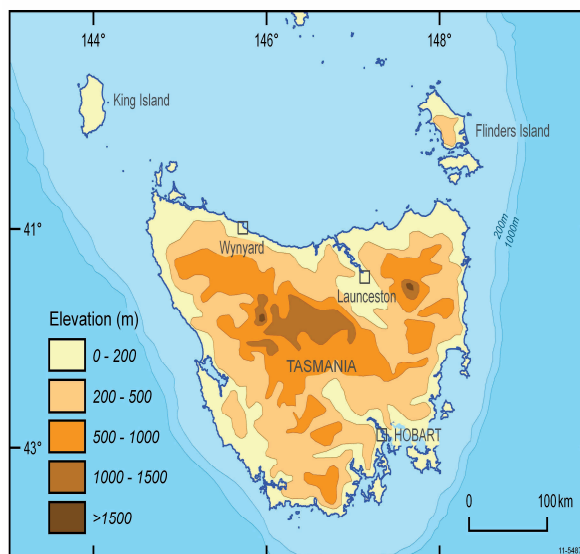


Figura 3. Contorno de elevación de Tasmania.

La Fig. 3 muestra un mapa del contorno de elevación de Tasmania y la Fig. 4 muestra el PR promedio de las 6 simulaciones presentadas en la Tabla 1 usando *velocidades promedio* extraídas de CCAM. Excepto por la Fig. 4, en estos estudios se usarán las *velocidades de ráfaga* excedidas con un PR de 500 años pues estas son las velocidades de diseño usadas para la construcción de edificios en Australia y Nueva Zelanda (AS/NZS 1170.2, 2002), por convención nos referiremos a ellas como “las velocidades con PR de 500 años”. Como era de esperarse, los vientos sinópticos siguen fielmente la topografía de Tasmania, nótese como estas velocidades aumentan en las faldas de las montañas en el oeste y el noreste de Tasmania. Esto es consistente con estudios detallados del efecto de las montañas en vientos sinópticos (Holmes, 2007). La Fig. 5 muestra el mapa correspondiente a velocidades de ráfaga con PR de 500 años calculadas usando la simulación de MC (para el clima presente).

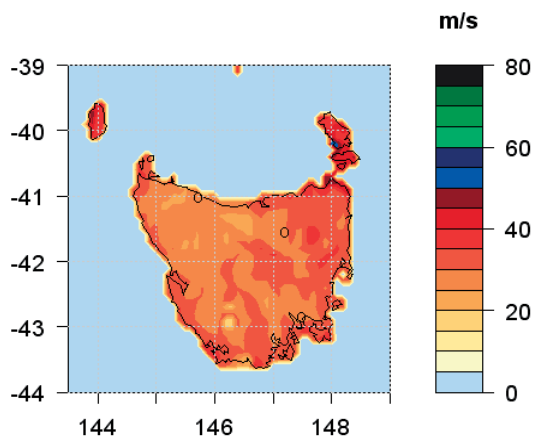


Figura 4. PR de velocidades promedio (500 años)

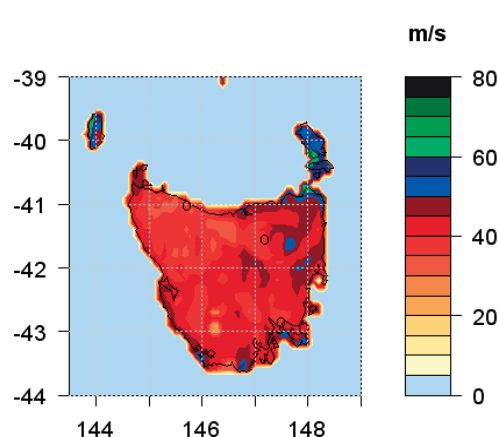


Figure 5. PR de velocidades de ráfaga.

3.2 Considerando el clima futuro

Para analizar el peligro producido por el viento bajo un clima futuro, se extrajeron velocidades de viento de las simulaciones de CCAM en 2 ventanas de 20 años alrededor de los años 2030 y 2070 considerando los escenarios B1 and A2. Para observar el cambio del peligro con respecto a las condiciones climáticas presentes Fig. 6 muestra el PR promedio de ráfaga de las 6 simulaciones de CCAM correspondiente a 500 años usando el escenario B1. Solo se pueden ver pequeños incrementos del peligro en las montañas del noreste y la isla Flinders en la ventana del año 2030.

Es interesante también observar la diferencia entre el peligro producido por el escenario B1 y el escenario A2. La Fig. 7 muestra esta diferencia en porcentaje de B1 para el año 2030 (para un PR promedio de las 6 simulaciones de 500 años). Se pueden ver pequeños incrementos del peligro en las regiones de alto peligro (este y noroeste), y hay una reducción del peligro en la región central del Estado cuando se utiliza el escenario A2. En general la diferencia entre los escenarios A2 y B1 en este caso representa menos del 15%. La Fig. 8 muestra la diferencia correspondiente al año 2070.

La Fig. 7 muestra una diferencia mayor entre los 2 escenarios en el año 2070. Se pueden observar incrementos de hasta un 45% en el noreste y noroeste del Estado, las regiones de mayor peligro. También se puede observar un incremento mucho mas pequeño en el sur y la parte central del Estado de Tasmania cuando se usa el escenario A2 en lugar del B1.

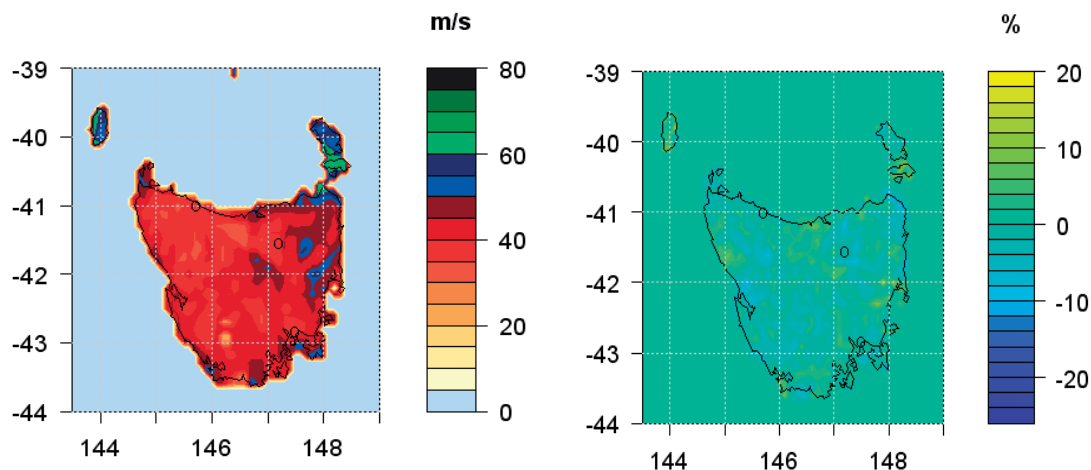


Figura 6. PR (500 años) de ráfaga en el 2030.

Figura 7. Cambio (%) de A2 respecto de B1 en el 2030.

Es muy importante también observar el cambio del peligro producido por vientos sinópticos bajo un clima futuro respecto del clima presente. Para ahorrar espacio solo el escenario A2, el escenario de mayores emisiones de gases, será considerado. La Fig. 9 muestra la diferencia en porcentaje del PR de viento entre el año 2070 y el clima presente. Se puede observar un incremento del peligro en las regiones de alto peligro (noreste y noroeste) y una reducción en el sur y el área central del Estado. Las figuras 8 y 9 presentan una tendencia similar: la diferencia en porcentaje entre los escenarios A2 y B1 es similar a la diferencia entre el año 2070 y el clima presente para el escenario A2.

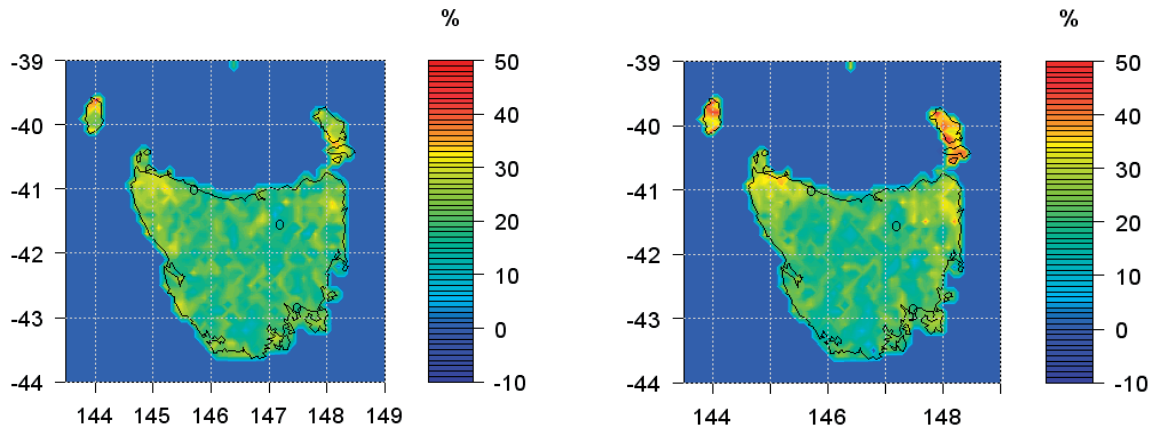


Figura 8. Cambio (%) de A2 respecto de B1 en el 2070. Figura 9. Cambio (%) del peligro en el 2070 respecto del clima presente.

Para observar el cambio puntual del peligro, calculamos el PR del peligro en la estación del aeropuerto de Launceston, la segunda ciudad más grande de Tasmania. Como se hizo anteriormente, calculamos el promedio de las 6 simulaciones para velocidades de ráfaga correspondientes a periodos de retorno de 50 a 2000 años. La Fig. 10 muestra los PR de las observaciones usando los archivos suministrados por BoM y una ventana temporal de 30 años para el clima presente y de 20 años alrededor de los años 2030 y 2070. La figura muestra que los PR calculados usando las simulaciones de CCAM para el clima presente son mayores que las calculadas usando las observaciones especialmente para bajos PR, esto no es ningún problema puesto que en estudios de peligros los valores altos son mucho mas importantes y ellos tienden a estar mucho mas cerca. La tendencia temporal del peligro producido por el viento anotada en la Sección anterior se puede ver también en esta figura. El PR en el año 2030 es muy similar al PR del clima presente mientras que el PR para el año 2070 es substancialmente mayor que el PR del clima presente.

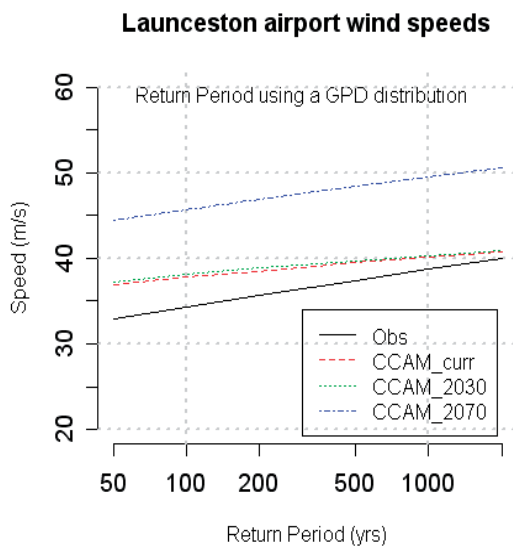


Figura 10. PR en el aeropuerto de Launceston.

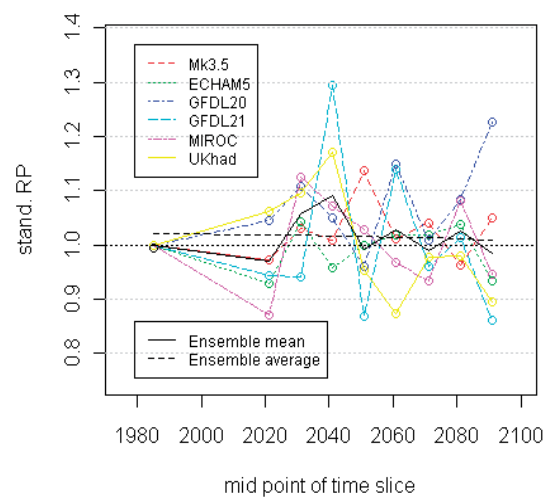


Figura 11. PR en Launceston (usando A2)

3.3 Tendencia a largo plazo del peligro

Para observar la tendencia de largo plazo del peligro producido por vientos sinópticos en Tasmania se han calculado PR (velocidad de ráfaga excedida en 500 años) en 8 ventanas de 20 años cada una, en las 3 estaciones seleccionadas, considerando el escenario A2. El valor de los PR has sido estandarizado con respecto del clima presente usando la expresión,

$$PR_standard = (PR_mod_j_ventana_k) / PR_mod_j_pres \quad (1)$$

Donde:

$PR_mod_j_pres$ = Periodo de retorno del modelo climatico “j”, clima presente

$PR_mod_j_ventana_k$ = PR del modelo climatico “j” en el tiempo “k”

La Fig. 11 muestra el PR de la velocidad de ráfaga excedida en 500 años en el aeropuerto de Launceston, escenario A2 (el eje de las x muestra el punto medio de la ventana). Nótese que el primer punto corresponde al clima presente. Para facilitar la lectura de la figura se ha trazado una línea a través de los PR y se han utilizado colores y tipos de curva diferentes. Se puede ver que los resultados de la mayoría de los modelos están situados sobre la línea del 1.0, es decir todos los modelos proyectan un incremento del peligro respecto del clima presente. Se puede ver sin embargo una gran diferencia en el tamaño del incremento y la ventana en la que este ocurre. GFDL21 por ejemplo proyecta un incremento del 30% en 2030 mientras que MIROC proyecta una reducción del 15% en 2020 (utilizando las velocidades extraídas en la ventana entre el 2010 y el 2030).

Las líneas negras muestran la mediana de los PR en cada punto del eje de las xs y el promedio del conjunto. El primer valor es la mediana del PR de los 6 modelos calculada en cada ventana y se muestra con la línea negra seguida, el segundo valor se muestra con la línea negra discontinua y es la Regresión Lineal (RL) calculada con todos los PR. La RL muestra que la tendencia de largo plazo en esta estación es hacia una pequeña reducción del peligro. Las graficas correspondientes al aeropuerto de Hobart para los escenarios A2 y B1 se presentan en las Figuras 12 y 13. Los resultados de los modelos individuales en la estación de Hobart muestran un tendencia similar, se puede ver un gran variabilidad también aquí. Nótese sin embargo que la tendencia de largo plazo en esta estación es hacia un incremento del peligro (línea negra discontinua), para observar mejor esta tendencia la inclinación calculada en la RL en cada estación es presentada en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de la RL para el ‘conjunto promedio’ (escenario A2) en los aeropuertos de Hobart, Launceston y Wynyard en Tasmania.

Localización	Inclinación estimada	95% IC límite inferior	95% IC límite superior
Hobart	0.0013	-0.0105	0.013
Launceston	-0.0014	-0.015	0.012
Wynyard	0.0034	-0.0072	0.014

La Tabla 2 muestra el parámetro “inclinación” (tendencia en el siglo XXI) del promedio de PR del conjunto de modelos descrito en la Tabla 1. Se presenta también el Intervalo de Confianza (IC) con probabilidad del 95%. El intervalo de confianza de la inclinación fue calculado utilizando la expresión convencional en regresión lineal basada en el hecho de que

la diferencia entre la inclinación calculada de la muestra $\hat{\beta}_1$ y la inclinación real β_1 , normalizada por el error estándar de la muestra EE, tiene una distribución “t” con (n-2) grados de libertad, en donde “n” es el numero de elementos en la muestra (Versani, 2005), esto es:

$$IC = \hat{\beta}_1 \pm t^* EE(\hat{\beta}_1) \tag{2}$$

La Tabla 2 muestra una pequeña inclinación positiva en Hobart y Wynyard indicando un pequeño incremento en la tendencia de largo plazo del peligro, mientras que para Launceston la inclinación es negativa indicando que la tendencia es hacia una pequeña reducción del peligro. Debe anotarse que la Tabla 2 muestra un IC bastante grande para la inclinación (la tendencia futura) indicando una incertidumbre grande sobre el verdadero valor de la tendencia de largo plazo del peligro en estas estaciones.

4 CONCLUSIONES

En este artículo hemos presentado una metodología computacional desarrollada para evaluar el peligro producido por el viento en las regiones australianas no afectadas por huracanes. La metodología, desarrollada inicialmente para velocidades registradas por estaciones de medida, se extendió mas tarde a velocidades producidas por simulaciones climáticas. Esta metodología nos permite evaluar el peligro producido por vientos sinópticos considerando el clima presente y para una serie de intervalos del clima futuro, utilizando escenarios del IPCC, hasta el final del presente siglo.

Los resultados del modelo muestran una tendencia consistente: el peligro aumenta en las regiones de alto peligro cuando se considera un escenario de altas emisiones de gases de efecto invernadero, este incremento es más notorio hacia el final del siglo que en el tiempo presente debido a las mayores emisiones de gases. El modelo también muestra que en algunas partes del Estado, particularmente en las regiones de bajo peligro, es posible que se presenten reducciones en el peligro producido por el viento.

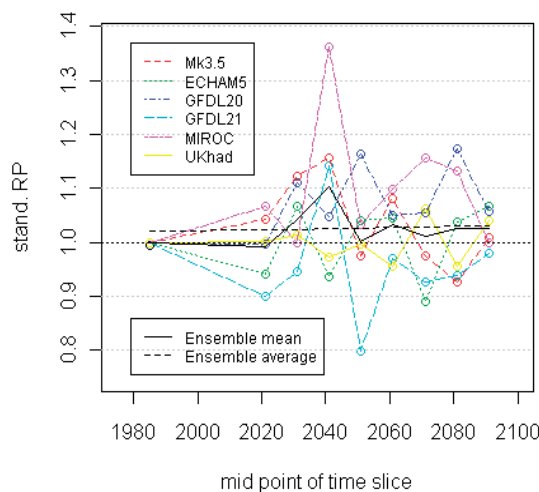


Figura 12. PR en el aeropuerto de Hobart (A2)

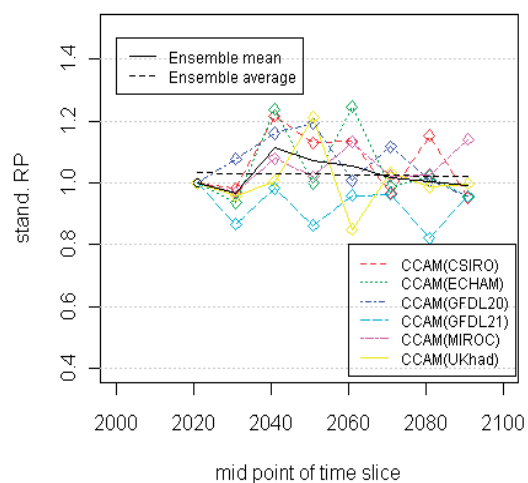


Figura 13. PR en el aeropuerto de Hobart (B1)

Es importante anotar que se observaron grandes diferencias en los resultados de CCAM forzado por los diferentes modelos climáticos por esta razón hemos promediado los resultados del conjunto de modelos para tratar de reducir la incertidumbre y presentar la tendencia de largo plazo mas acertada posible. El peligro producido por el viento también es afectado por la dirección del viento, en este momento estamos desarrollando modelos para calcular los llamados “multiplicadores de dirección de viento” que nos permitirán calcular el peligro real producido por vientos sinópticos en una región específica.

REFERENCIAS

- Australian Bureau of Meteorology 2011. <http://www.bom.gov.au/>
- Brasseur, O., Development and Application of a Physical Approach to Estimating Wind Gusts *Monthly Weather Review* **129** 2001 5-25
- Cechet R.P., Arthur W.C., Wehner M., Sanabria L.A., Thomas C., Nadimpalli K., Power L., Divi C.B and Yang T., National Wind Risk Assessment for the Australian region. The 5th International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE2010). Chapel Hill, North Carolina, USA May 23-27, 2010.
- Coles, S., An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer series in statistics. London 2001.
- Corney, S., J.J. Katzfey, J.L. McGregor, M. Grose, J. Bennett, C.J. White, G. Holz and N.L. Bindoff, Climate Futures for Tasmania technical report: methods and results on climate modelling, Antarctic Climate and Ecosystems Cooperative Research Centre, Hobart, Tasmania, 2010.
- Holmes, J.D., Wind Loading of Structures. Taylor & Francis 2nd Ed 2007.
- IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). In: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data.shtml
- Middelmann, M., Natural Hazards in Australia. Identifying Risk and Analysis Requirements. Geoscience Australia. GeoCat #65444, 2007.
- NetCDF Operators (NCO Tools). In: <http://nco.sourceforge.net>
- Sanabria, L.A., and Cechet, R.P., A Statistical Model of Severe Winds. Geoscience Australia Record, 2007/12, 2007.
- Sanabria, L. A., and Cechet, R P., Severe Wind Hazard Assessment using Monte Carlo Simulation. *Environmental Model. and Assessment* Vol. **15** 147-154., 2010.
- Verzani J., Using R for Introductory Statistics. Chapman & Hall/CRC Press 2005.
- Zeileis, A. and Grothendieck, G., “zoo: Infrastructure for Regular and Irregular Time Series. *Journal of Statistical Software*, 14(6), 1-27, 2005.



© Commonwealth of Australia (Geoscience Australia) 2011.

This publication is provided under a Creative Commons Attribution 3.0 Australia Licence with the permission of the CEO of Geoscience Australia.