



**2025** | **16-20**  
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

**9CFE-1307**

---

Organiza





## ¿Cuál es la contribución del viento a la propagación de los incendios forestales?

PLAZA-MARTIN, N. P (1), MANRIQUE-ALBA, A. (1), AZORIN-MOLINA, C. (1) y PAUSAS, J (2)

(1) Grupo Climatoc-Lab. Departamento de Ecología y Cambio Global. Centro de Investigaciones sobre Desertificación, CV-315, km 10.7, Moncada 46113 (Valencia).

(2) Grupo EvoFire. Departamento de Ecología y Cambio Global. Centro de Investigaciones sobre Desertificación, CV-315, km 10.7, Moncada 46113 (Valencia).

### Resumen

Los incendios forestales dependen de las igniciones, del combustible disponible, de las condiciones de sequía, y de las condiciones atmosféricas. Altas temperaturas, baja humedad y, principalmente, viento fuerte, aumentan su tamaño y severidad. Sin embargo, el papel del viento en los incendios se ha estudiado poco debido a la dificultad de observar y predecir esta variable. En general, el viento es el principal factor que determina si una ignición se queda en un conato o genera un gran incendio. Además, entender el papel del viento en los incendios es clave para la gestión forestal, ya que las estrategias dependen de si la propagación del incendio está dominada por el viento o por el combustible. El proyecto VENTAFOCS cuantifica, mediante el uso de datos masivos (observaciones y simulaciones de viento, datos satelitales de incendios forestales) y de la Inteligencia Artificial, el papel del viento en el régimen de incendios forestales a distintas escalas espacio-temporales. Además, identifica las zonas donde la propagación de incendios está controlada por el viento frente a la disponibilidad de combustible. Este proyecto permitirá generar la base científico tecnológica para mejorar la predicción y ofrecer un servicio para la prevención y gestión de los incendios.

### Palabras clave

Viento, incendios forestales, inteligencia artificial, gestión

#### 1. Introducción

Los incendios forestales son procesos naturales intrínsecos al sistema climático que se pueden ver tanto favorecidos como mitigados por la acción humana (Bowman et al. 2009). Debido a las pérdidas humanas y económicas que ocasionan (Thomas et al. 2017), existe un gran interés social en conocer la dinámica de los incendios forestales con el fin de reducir al mínimo estos impactos. Es por ello que la literatura científica se ha centrado en la predicción de las causas de ignición y en el desarrollo de modelos de propagación del fuego una vez este está iniciado (Viegas, 2011). Este último punto es el más relevante para los servicios de extinción y la gestión de la emergencia, pues es la fase en la que suelen concentrarse los riesgos para los bomberos forestales y poblaciones afectadas. Por tanto, comprender los mecanismos que controlan la propagación del fuego es fundamental.

La literatura divide los regímenes de propagación en dos grupos: aquellos controlados por la cantidad de combustible y los que están controlados por el viento (Keeley y Syphard 2019). Por supuesto, esta distinción es de alguna manera artificial, dado que todos los incendios son controlados por múltiples factores que implican combustibles, vientos, y topografía. Las nuevas capacidades en teledetección han permitido responder a cómo los distintos tipos de suelo y



vegetación contribuyen al avance del fuego forestal (Jones et al. 2022), lo que ha contribuido a desarrollar planes de gestión centrados en el control del combustible disponible, mediante un control de la vegetación inflamable. Sin embargo, estos planes de gestión destinados a frenar el avance del fuego forestal han demostrado ser insuficientes ante los incendios cuya propagación está controlada por el viento (Syphard et al. 2011).

El papel del viento ante los incendios forestales es muy diverso. En las situaciones anteriores al fuego, los vientos intensos y secos que predominan en algunas regiones de la Tierra, como son los vientos catabáticos de Santa Ana en California o los ponientes en el Mediterráneo Occidental, han favorecido condiciones de ignición y, en caso de fuego, su propagación hacia grandes extensiones de terreno (Keeley y Syphard et al. 2018, Westerling et al. 2004). Esto se debe en parte por el empuje mecánico de las llamas; el transporte de pavesas que generan nuevos focos en la dirección de propagación del incendio; y el secado del material combustible por el transporte del calor del incendio antes de la llegada del fuego. En consecuencia, ante vientos moderados o fuertes, los frentes de los incendios forestales se aceleran (Viegas, 2011).

A pesar de ser conocida esta relación viento-fuego por la literatura científica y de ser una de las variables que más atención reúne en los trabajos de simulación de propagación del fuego (Alexander y Cruz, 2013), se desconoce el impacto histórico que la variabilidad climática del viento ha tenido sobre los regímenes de incendios a escala global y regional (Seneviratne et al. 2021). En parte se debe a que cuando se tiene en cuenta el factor atmosférico, éste se estima a través de índices como el Canadian Fire Weather Index (FWI), en el que se tienen en cuenta también otras variables como la temperatura y la humedad relativa del aire. Abatzoglou et al., (2018) encontraron que el índice FWI muestra una alta correlación con el área quemada en regiones en donde la inflamabilidad está limitada por la humedad. Por tanto, ante condiciones de sequía, estos ecosistemas ricos en material combustible se vuelven muy vulnerables ante los incendios (Bedia et al. 2015). Jain et al. (2021) reportó que las variaciones en extensión temporal e intensidad del FWI que se están produciendo a causa del cambio climático, se deben a un aumento de la temperatura acompañado de descenso de la humedad relativa en forma de sequías, quedando la velocidad del viento relegada a un plano secundario. Sin embargo, el FWI es un índice diario que no tiene en cuenta la dirección del viento, ni sus ráfagas, ni la variabilidad temporal a escala subsidiaria del viento, ni sus interacciones con el combustible y la topografía. Además, el viento se ha demostrado como factor modulador de los incendios en regiones donde el índice FWI muestra valores climatológicos más altos. Como bien demuestra Abatzoglou et al., (2018), los vientos adiabáticos de ladera que se caracterizan por ser muy cálidos y secos están detrás de la propagación de muchos incendios que se inician en regiones con clima Mediterráneo. Cabe entonces preguntarse cómo la variabilidad de estos vientos, modula la propagación de incendios en estas zonas cuando se dan casos de ignición.

Además de la incertidumbre asociada a los vientos cálidos y secos de ladera, la velocidad del viento en superficie muestra a escala global tendencias que tanto las simulaciones climáticas como los reanálisis subestiman (Torralba et al. 2017, Ramon et al. 2019). Roderick et al. (2007) encontró una ralentización del viento terrestre en superficie que McVicar et al. (2012) mostró como un fenómeno a escala global (afectando principalmente a latitudes medidas continentales), aunque recientemente se han encontrado regiones con tendencia opuesta, fenómeno



conocido como “reversal” (Zeng et al. 2019). Teniendo en cuenta que tanto las simulaciones climáticas como los reanálisis son las bases de datos más utilizadas para el análisis espacial de la variabilidad climática del FWI, la falta de reproducción de las tendencias observadas de la velocidad del viento podría dar lugar a una subestimación de los efectos del viento sobre la propagación del fuego. Sin embargo, a día de hoy no hemos encontrado ningún estudio que haya investigado el impacto de la variabilidad espacio-temporal de la velocidad del viento ( p.ej., fenómenos de “stilling” y “reversal”) en la propagación de los incendios.

## 2. Objetivos

El proyecto VENTAFOCS tiene como objetivo cuantificar el papel del viento en el régimen de incendios a escala regional y global. Para ello, realizará una clasificación regional en función del tipo de propagación, por combustible o por viento, que reflejan los incendios forestales de la zona. Esto permitirá mejorar la predicción a muy corto plazo del desarrollo de los incendios una vez iniciados, pero también sentará las bases para la predicción estacional y decadal de la propagación de incendios forestales controlados por el viento.

## 3. Metodología

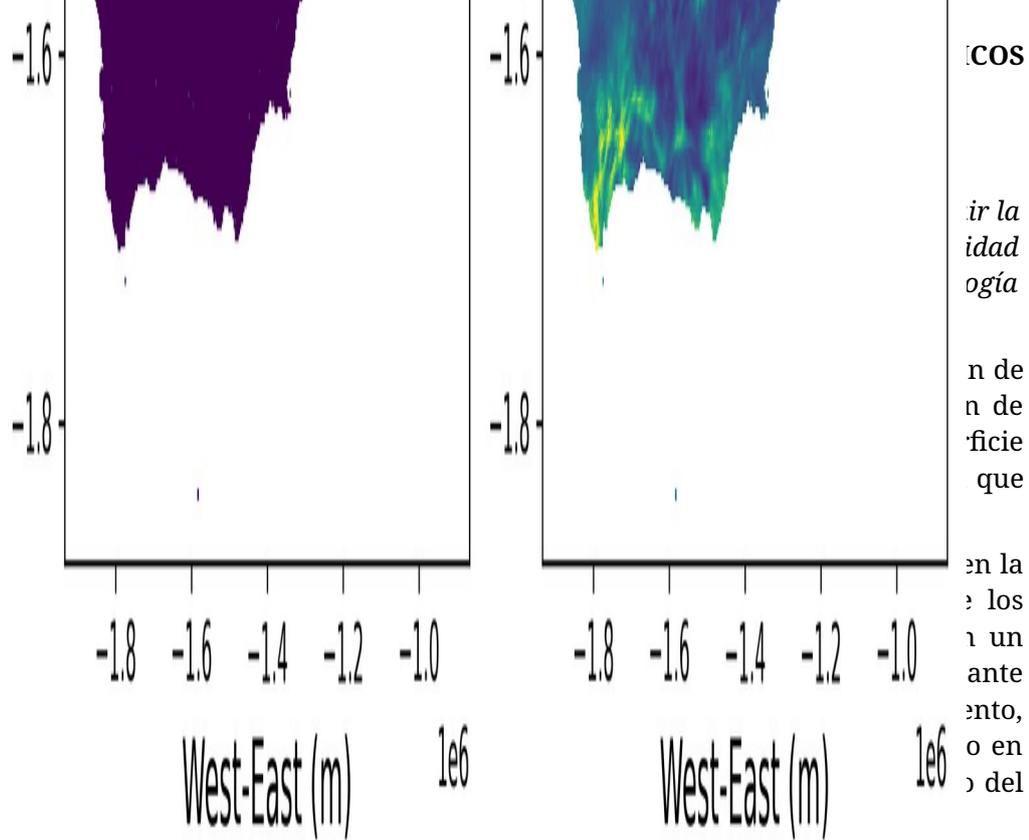
El proyecto VENTAFOCS se ha estructurado en varias fases metodológicas. Por un lado, en el control de calidad y homogeneización de series históricas de observaciones de velocidad y dirección de viento en superficie (10-m por encima del nivel del suelo) con registros horarios recogidas por redes de estaciones meteorológicas nacionales (i.e. AEMET en el caso de España) y globales (i.e. HadISD GHCNd). Estas series permitirán identificar los regímenes de vientos asociados a condiciones atmosféricas extremas para la propagación de incendios en zonas sin limitación de material combustible.

Por otro lado, el proyecto utilizará bases de datos como World Fire Database y también datos de teledetección para identificar las áreas quemadas. Con estas bases de datos y con información sobre el tipo de vegetación y/o material combustible, se entrenará una Inteligencia Artificial en un problema de segmentación y clasificación para detectar el porcentaje de área quemada atribuible al viento en cada incendio. Esto permitirá cuantificar el papel a escala regional y global que tiene el viento en la propagación de los incendios.

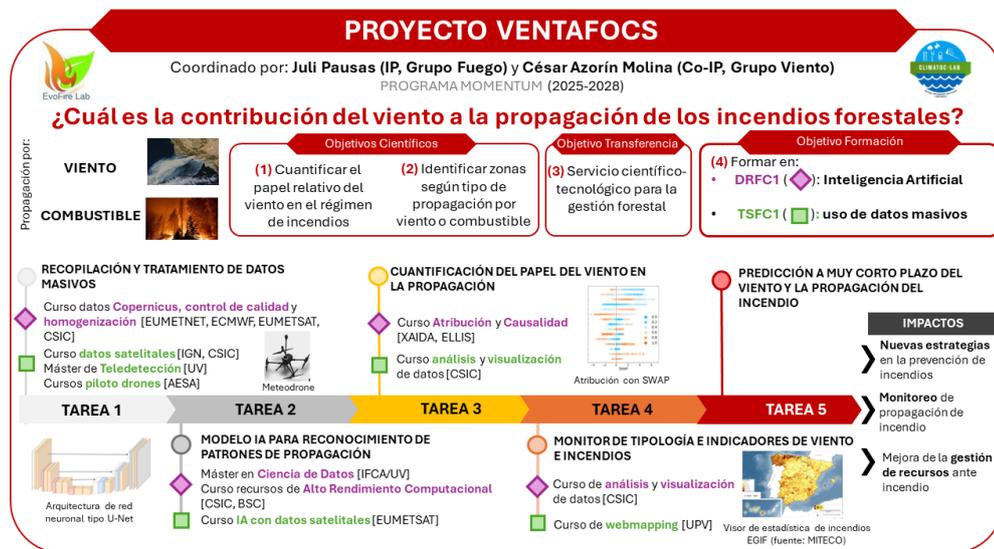
## 4. Resultados

Una de las primeras fases del proyecto se basa en la producción de rejillas de FWI y de velocidad del viento en superficie, en alta resolución espacial (< 5 km) y temporal (horaria), que permitan analizar históricos de condiciones extremas del riesgo de incendio y la ocurrencia de vientos de ladera. La Figura 1 muestra un ejemplo de reconstrucción de la velocidad del viento utilizando el modelo de aprendizaje profundo para la reconstrucción de series climáticas CRAI (<https://github.com/FREVA-CLINT/climatereconstructionAI>). Este modelo fue entrenado con el New European Wind Atlas (<https://map.neweuropeanwindatlas.eu/>, Dörenkämper et al. 2020) para la región de España (a excepción de Canarias) con el fin de aprender a identificar el patrón del viento a partir de unas estaciones meteorológicas. En la Figura 1 se muestra el ejemplo de un día de ponientes en donde se registraron velocidades de viento diarias de alrededor de 30 m/s, llegando a afectar a la costa Mediterránea.





COS  
ir la  
idad  
ogía  
n de  
n de  
ficie  
que  
en la  
e los  
i un  
ante  
ento,  
o en  
del



## 5. Discusión

El proyecto VENTAFOCS pretende dar respuesta a la incertidumbre asociada al papel del viento en la propagación de los incendios forestales. En este contexto, la reconstrucción del viento a escalas espaciales inferiores a 3-km permitirá una mayor reproducción de los vientos de ladera estudiados a escala global por Abatzoglou et al. (2018, 2021). Además, esta reconstrucción permitirá generar una rejilla FWI con mayor resolución que en los reanálisis actuales, que permitirá analizar la posible subestimación de la peligrosidad asociada a los vientos cálidos y secos de ladera.

Por otro lado, el análisis de la dirección del viento sobre la propagación del viento basada en observaciones, ofrecerá una perspectiva más amplia respecto a la peligrosidad de los incendios que el uso del índice FWI. Existen numerosos



ejemplos en la literatura de simulación de la propagación de los incendios que incluyen esta variable para mejorar sus modelos de predicción (Quill et al. 2019 y Masoudian et al. 2023, entre otros). Sin embargo, esta variable ha sido relegada a un segundo plano por detrás de la velocidad del viento en los estudios de atribución del cambio climático a la variabilidad de la superficie quemada.

Por otro lado, el proyecto VENTAFOCS aportará luz a la cuestión sobre cómo las tendencias globales y variabilidad multidecadal del viento pueden controlar los regímenes de propagación del fuego a escala global y/o regional. A pesar de la abundante bibliografía sobre las tendencias y variabilidad de la superficie quemada (Jones et al. 2022 y sus referencias), la huella del “stilling” y “reversal” sobre esta variabilidad no ha sido aún estudiada.

## 6. Conclusiones

Tras una revisión bibliográfica, este trabajo ha identificado tres lagunas de investigación en los estudios de impacto del viento sobre la propagación de los incendios forestales.

1. En la atribución de la superficie quemada a variables climáticas, se utilizan índices de riesgo de incendios basados en reanálisis y simulaciones climáticas que podrían subestimar el papel del viento.
2. Además, estos índices de riesgo de incendio según las condiciones meteorológicas únicamente consideran la velocidad del viento, sin prestar atención a la dirección del viento ni las rachas máximas. Sin embargo, la dirección del viento (flujos catabáticos cálidos y secos) y su variabilidad se ha demostrado como variable determinante en las herramientas de predicción para la gestión de incendios forestales. Por tanto, los estudios que atribuyen las tendencias de la superficie quemada a condiciones meteorológicas extremas, podrían estar subestimando el papel de la dirección del viento en la propagación de los incendios, acoplado con la topografía.
3. Existe una gran incertidumbre en cómo los fenómenos de variabilidad climática del viento a escala global y regional, como el “stilling” y el “reversal”, contribuyen a la variabilidad de la propagación de los incendios.

A este respecto, el proyecto VENTAFOCS propone una nueva mirada basada en la reconstrucción de las variables atmosféricas y, en concreto el viento, a partir de observaciones de estaciones meteorológicas, que permitan analizar los regímenes de viento que controlan la propagación del fuego en caso de ignición y su evolución histórica.

## 7. Agradecimientos

El proyecto VENTAFOCS (MMT24-CIDE-01) forma parte del Programa Momentum del CSIC, financiado con fondos europeos NextGenerationEU

## 8. Bibliografía

ABATZOGLOU, J. T.; WILLIAMS A. P.; BOSCHETTI, L. ZUBKOVA, M.; KOLDEN, C. A.; 2018. Global patterns of interannual climate–fire relationships. *Global Change Biology* 24(11) 5164-5175. doi: 10.1111/gcb.14405

ALEXANDER, M. E.; CRUZ, M. G.; 2013. Limitations on the accuracy of model predictions of wildland fire behaviour: A state-of-the-knowledge overview. *The Forestry Chronicle* 89 (3) 372-383. doi: 10.5558/tfc2013-067

BEDIA, J.; HERRERA, S.; GUTIÉRREZ, J. M.; BENALI, A.; BRANDS, S.; MOTA, B.;



MORENO, J. M.; 2015. Global patterns in the sensitivity of burned area to fire-weather: Implications for climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 214-215 369–379. doi: 10.1016/j.agrformet.2015.09.002

BOWMAN, D. M. J.; BALCH, J. K.; ARTAXO, P.; BOND, W. J.; CARLSON J. M.; COCHRANE, M., A.; D'ANTONIO, C. M.; DEFRIES, R. S.; DOYLE, J. C.; HARRISON, S. P.; JOHNSTON, F. H.; KEELEY, J. E.; KRAWCHUK, M. A.; KULL, C. A.; MARSTON, J. B.; MORITZ, M. A.; PRENTICE, I. C.; ROOS, C. I.; SCOTT, A. C.; SWETNAM, T. W.; VAN DER WERF, G. R.; PYNE, S. J.; 2009. Fire in the Earth System. *Science*, 324(5926), 481–484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>

DÖRENKÄMPER, M.; OLSEN, B. T.; WITHA, B.; HAHMANN, A. N.; DAVIS, N. N.; BARCONS, J.; EZBER, Y.; GARCÍA-BUSTAMANTE, E.; GONZÁLEZ-ROUCO, J. F.; NAVARRO, J.; SASTRE-MARUGÁN, M.; SĪLE, T.; TREI, W.; ŽAGAR, M.; BADGER, J.; GOTTSCHALL, J.; SANZ RODRIGO, J.; MANN, J.; 2020. The Making of the New European Wind Atlas – Part 2: Production and evaluation *Geoscientific Model Development* 13(10) 5079-5102

JAIN, P.; CASTELLANOS-ACUNA, D.; COOGAN, S. C. P.; ABATZOGLOU, J. T.; FLANNIGAN, M. D.; 2023. Observed increases in extreme fire weather driven by atmospheric humidity and temperature. *Nature Climate Change* 12 63-70. doi: 10.1038/s41558-021-01224-1

JONES, M. W.; ABATZOGLOU, J. T.; VERAVERBEKE, S.; ANDELA, N.; LASSLOP, G.; FORKEL, M.; SMITH, A. J. P.; BURTON, C.; BETTS, R.; VAN DER WERF, G. R.; SITCH, S.; CANNADELL, J. G.; SANTÍN, C.; KOLDEN C. A.; DOERR S. H.; LE QUÉRÉ, C.; 2022. Global and regional trends and drivers of fire under climate change. *Reviews of Geophysics* 60 , e2020RG000726. <https://doi.org/10.1029/2020RG000726>

KEELEY, J. E.; SYPHARD, A. D.; 2019. Twenty-first century California, USA, wildfires: fuel-dominated vs. wind-dominated fires. *Fire Ecology* 15 24 <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0041-0>

KEELEY, J. E.; SYPHARD, A. D.; 2018. Historical patterns of wildfire ignition sources in California ecosystems. *International Journal of Wildland Fire* 12 781-799 <https://doi.org/10.1071/WF18026>

MCVICAR, T. R.; RODERICK, M. L.; DONOHUE, R. J.; LI, L. T.;VAN NIEL, T. G.; THOMAS, A.; GRIESER, J.; JHAJHARIA, D.; HIMRI, Y.; MAHOWALD, N. M.; MESCHERSKAYA, A. V.; KRUGER, A. C.; REHMAN, S.; DINPASHOH, Y.; 2012. Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation. *Journal of Hydrology* 416-417 182-205. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.10.024

RAMON, J.; LLEDÓ, L.; TORRALBA, V.; SORET, A.; DOBLAS-REYES, F. J.; 2019. What global reanalysis best represents near-surface winds?. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 145(724) 3236-3251. doi: 10.1002/qj.3616

RODERICK, M. L.; ROTSTAYN, L. D.; FARQUHAR, G. D.; HOBBS, M. T.; 2007. On the attribution of changing pan evaporation. *Geophysical Research Letters* 34(17) 403. doi: 10.1029/2007GL031166

SENEVIRATNE, S.I.; ZHANG, X.; ADNAN, M.; BADI, W.; DEREZYNSKI, C.; DI LUCA, A.; GHOSH, S.; ISKANDAR, I.; KOSSIN, J.; LEWIS, S.; OTTO, F.; PINTO, I.; SATOH, M.; VICENTE-SERRANO, S. M.; WEHNER, M.; Y ZHOU, B.; 2021: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of*



the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. *Cambridge University Press*, 1513–1766, doi: 10.1017/9781009157896.013.

SYPHARD, A. D.; KEELEY J. E.; BRENNAN T. J.; 2011. Comparing the role of fuel breaks across southern California national forests. *Forest Ecology and Management* 261 11 2038-2048. doi:10.1016/j.foreco.2011.02.030

THOMAS D.; BUTRY, D.; GILBERT, S.; WEBB, D.; FUNG, J.; 2017. The costs and losses of wildfires: a literature survey. *Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ.* 1215 <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1215>

TORRALBA, V.; DOBLAS-REYES, F. J.; GONZALEZ-REVIRIEGO, N.; 2017. Uncertainty in recent near-surface wind speed trends: a global reanalysis intercomparison. *Environmental Research Letters* 12(11) 114019. doi: 10.1088/1748-9326/aa8a58

VIEGAS; 2011. Overview of Forest Fire Propagation Research. *Fire Saf. Sci.* 10 95-108. doi: 10.3801/IAFSS.FSS.10-95

WESTERLING, A. L.; CAYAN, D. R. D.; BROWN, T. T. J.; HALL, B. L.; RIDDLE, L. G.; 2004. Climate, Santa Ana winds and autumn wildfires in southern California. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 85(31) 289–296.

ZENG, Z.; ZIEGLER, A. D.; SEARCHINGER, T.; YANG, L.; CHEN, A.; 2019. A reversal in global terrestrial stilling and its implications for wind energy production. *Nature Climate Change* 9 (12) 979-985

*Figura 2. Ejemplo de fotografía, (Libre Franklin 10, cursiva, centrado, espaciado anterior y posterior con una línea en blanco)*