

CUARTA ÉPOCA

GEOGRAPHICALIA

1977 - 1988 - 2000 - 2023

**EDITORIAL:**

Cuarta época de Geographicalia | Mapas temáticos y representación de variables espaciales | Programas para hacer mapas

ARTÍCULOS:

Entidades de población y Reto Demográfico | Ordenamiento territorial en Colombia | Gestão territorial conservacionista | Indicadores de seguimiento | Islas de frescor | Poblados industriales

MAPAS:

Entropía en la ciudad de Zaragoza | Población y vulnerabilidad social en España | Clima y cartografía de los Pirineos | Cartografía intraurbana de la justicia espacial en Santander

NOTAS DE INVESTIGACION Y RESEÑAS:

Paisajes forestales afectados por el fuego | Riesgos y cambios ambientales en el Ebro medio | Trayectorias de peligro de incendio | Ciencia ciudadana y despoblación



Departamento de
Geografía y
Ordenación del Territorio
Universidad Zaragoza

nº 75

DICIEMBRE, 2023

207-214 pp.

GEOGRAPHICALIA

NOTAS DE
INVESTIGACIÓN
Y RESEÑAS



**Trayectorias de peligro de incendio bajo escenarios
de cambio climático y de gestión**

Marcos Rodrigues



Departamento de
Geografía y
Ordenación del Territorio
Universidad Zaragoza

Trayectorias de peligro de incendio bajo escenarios de cambio climático y de gestión

Marcos Rodrigues

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, Geoforest-IUCA, Instituto Universitario de Ciencias Ambientales, Calle Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España

Resumen: Nota de investigación sobre el Proyecto FirePATHS – “Trayectorias de peligro de incendio bajo escenarios de cambio climático y de gestión” liderado por Marcos Rodrigues y financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (PID2020-116556RA-I00). El proyecto persigue evaluar la evolución del peligro de incendio bajo distintos escenarios de concentración de emisiones y de gestión forestal mediante la interacción explícita del sistema clima-vegetación-fuego. El núcleo del proceso reside en la modelización de la dinámica de la vegetación a escala de rodal bajo diversas trayectorias de evolución climática, para caracterizar el estado y tipología de los combustibles, y la posterior simulación del comportamiento potencial del fuego (ej., velocidad de propagación o intensidad de la quema). Se trata de una estrategia novedosa para evaluar las posibles trayectorias de evolución en el contexto actual de cambio global, proporcionando una visión enfocada especialmente a desarrollar un marco para la gestión forestal orientada a la mitigación del riesgo de incendio. En este sentido, la metodología permite evaluar, entre otros, el potencial de intensidad de quema, probabilidad de fuego de copas, emisiones derivadas o la duración de la temporada de incendio. El objetivo último del proyecto es aportar y evaluar estrategias de gestión forestal eficaces para la mitigación del riesgo de incendio basadas en las principales narrativas y líneas de intervención en el contexto europeo (promoción del uso de la biomasa, de servicios ecosistémicos o de la gestión del combustible mediante quemas prescritas).

Palabras clave:

Incendios forestales, cambio climático, gestión forestal, geografía, riesgo, prevención.

Fire danger pathways under climate change and management scenarios

Abstract: Short communication about the project FirePATHS – “Fire danger pathways under climate change and management scenarios” led by Marcos Rodrigues and funded by the Ministry of Science and Innovation (PID2020-116556RA-I00). The project aims to evaluate the evolution of fire danger under different emission concentration and forest management scenarios through the explicit interaction of the climate-vegetation-fire system. The core of the process lies in the modeling of vegetation dynamics at stand scale under different trajectories of climate evolution, to characterize the state and typology of fuels, and the subsequent simulation of potential fire behavior (e.g., rate

Recibido: 07-12-2023. **Aceptado:** 10-12-2023.

DOI: https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2023759970

of spread or intensity of burning). This is a novel strategy to evaluate the possible evolution trajectories in the current context of global change, providing a vision especially focused on developing a framework for forest management oriented to fire risk mitigation. In this sense, the methodology allows assessing, among others, the potential for burning intensity, crown fire probability, derived emissions or fire season duration. The ultimate objective of the project is to provide and evaluate effective forest management strategies for fire risk mitigation based on the main narratives and lines of intervention in the European context (promotion of biomass use, ecosystem services or fuel management through prescribed burning).

Keywords:

Forest fires, climate change, forest management, geography, risk, prevention, forest fires, climate change, prevention.

1. Antecedentes y contexto de la investigación

LOS BOSQUES SON UN RECURSO de importancia crítica dada su capacidad para regular la temperatura y el ciclo del agua, mantener la biodiversidad o actuar como sumidero de carbono, además de producir valiosos bienes y servicios ecosistémicos (madera, setas...). Los incendios forestales son la principal perturbación que afecta a los ecosistemas forestales en todo el mundo y principalmente en la Europa mediterránea. La comunidad científica ha alcanzado un elevado grado de consenso en cuanto a las alteraciones inducidas por el cambio climático en la dinámica de los incendios forestales (Seidl et al., 2017). En este contexto, un desafío clave para la investigación y la gestión es proyectar adecuadamente los posibles cambios en el peligro de incendios forestales. Comprender dónde y cómo pueden cambiar las pautas de comportamiento de los incendios es fundamental para elaborar estrategias y gestionar los recursos necesarios y anticiparse a esos cambios (Syphard et al., 2018). En la Unión Europea (UE), el aumento de la frecuencia de las olas de incendios como las de 2017 en Portugal (con casi 45.000 ha calcinadas en el mes de junio, 66 fallecidos y más de 200 heridos) o España en 2019 (incendio de Torre del Español afectando a más de 6.500 ha) amenaza los sistemas forestales y humanos. La Comisión Europea (CE) está fomentando la prevención, preparación y respuesta frente a estos desastres mediante el Mecanismo de Protección Civil de la UE y la iniciativa *rescEU*. De este modo se busca fortalecer la respuesta colectiva frente a catástrofes naturales para proteger a los ciudadanos, reforzando específicamente las labores de vigilancia y mitigación de incendios. La estrategia planteada en los programas H2020 y *Green Deal* apuesta claramente por la investigación y la gestión proactiva como principales vías de avance, estableciendo como metas inmediatas “reducir la incidencia y la extensión de los incendios forestales” e “impulsar la capacidad de la UE de predecir y gestionar los desastres medioambientales”.

Alcanzar este objetivo exige una mejor comprensión del riesgo de incendio a diversas escalas espaciales y temporales (Alcasena et al., 2019). Hasta la fecha, los esfuerzos se han dedicado principalmente a pronosticar las condiciones de peligro (pro-

babilidad de que ocurra un evento de una determinada intensidad) mediante indicadores meteorológicos (e.g., Fire Weather Index), sin considerar la dinámica de las comunidades vegetales y los combustibles (Barbero et al., 2019; Bedia et al., 2014). No obstante, la interacción clima-vegetación-fuego juega un papel fundamental en la definición de los regímenes de incendio. La evolución climática puede alterar los patrones y tipos de comunidades vegetales; a su vez, es la vegetación la que “soporta” el fuego, cuya incidencia también se ve condicionada por las variaciones climáticas (Figura 1). La práctica común de omitir la dinámica de la vegetación introduce una importante incertidumbre en las proyecciones basadas únicamente en modelos climáticos, ya que la humedad, la abundancia y la estructura del combustible son factores clave detrás de la incidencia de los incendios (Syphard et al., 2018).

Existen varios tipos de modelos de simulación de la dinámica de la vegetación diseñados para operar a diversas escalas que se han utilizado ya para el análisis de cambios en los regímenes de incendios y los potenciales impactos asociados. Sin ser exhaustivos, entre las aplicaciones más recientes a escala global/regional, los modelos disponibles (MC2, SPITFIRE-2, entre otros) han demostrado ser de gran utilidad para evaluar impactos en la interacción vegetación-fuego (Kim et al., 2017; Sheehan et al., 2019). A nivel de paisaje encontramos también diversas alternativas (e.g. LANDIS, iLand, Medfire) que permiten simular de manera más compleja los procesos que controlan la dinámica de los ecosistemas forestales (competencia individual entre árboles, crecimiento, mortalidad o regeneración) que cuentan además con módulos específicos para incluir el efecto de los incendios forestales (Hansen et al., 2020; Scheller et al., 2007; Seidl et al., 2012). No obstante, las simplificaciones efectuadas tanto en la modelización de la dinámica de la vegetación como en la incidencia del fuego no permiten valorar adecuadamente los cambios en las características del combustible (modelo de combustible, carga, estado hídrico, etc) ni, en consecuencia, valorar adecuadamente el potencial de peligrosidad de los incendios (intensidad de la quema o propagación de fuego a copas).

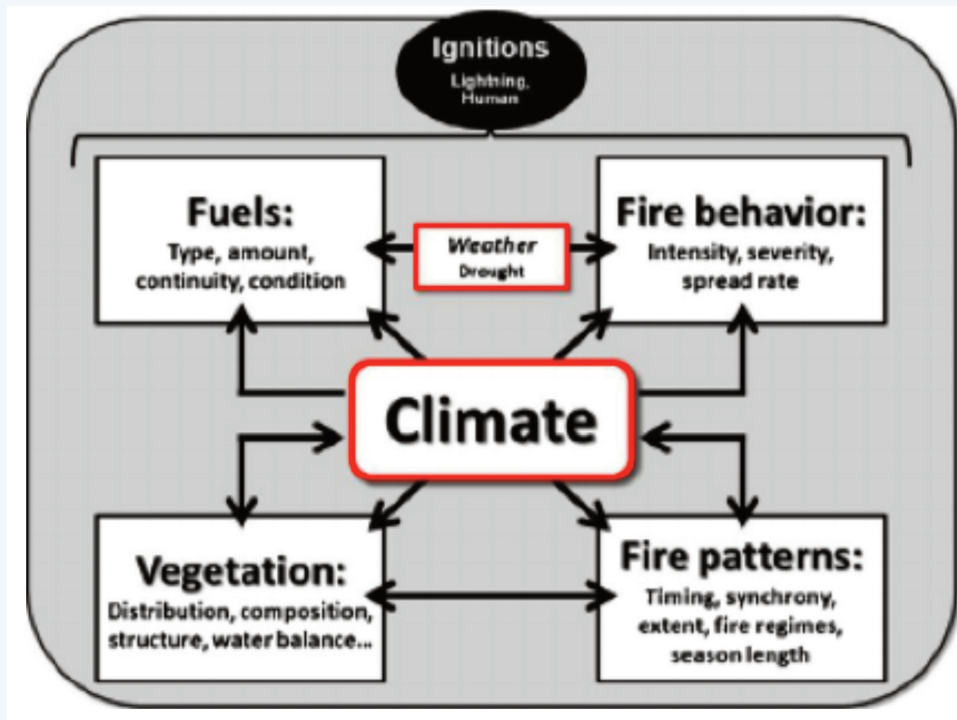


Figura 1. Diagrama de interacciones clima-vegetación-fuego.
Fuente: Tomado de Keane et al. (2015).

En cambio, los modelos de dinámica forestal a escala de rodal (e.g. *medfate*; (De Cáceres et al., 2023) permiten una mayor concreción en la simulación de la dinámica de la vegetación mediante la inclusión de módulos más sofisticados y precisos sobre los procesos que controlan la sucesión de la vegetación (mortalidad, competencia, reproducción y crecimiento). Este tipo de modelos son particularmente interesantes ya que pueden reflejar de una manera más realista las posibles trayectorias de evolución de las comunidades forestales en su composición y estructura bajo distintas condiciones (Blanco et al., 2020). Esto es especialmente relevante en ambientes mediterráneos donde la complejidad del paisaje, la alta incidencia de perturbaciones y la sensibilidad de algunas especies forestales al cambio climático supone un obstáculo importante (Cervera et al., 2019; Fernandes, 2013; Morán-Ordóñez et al., 2020; Turco et al., 2018). Los modelos a escala de rodal resultan de gran interés para predecir la evolución de los combustibles, ya que permiten simular los parámetros necesarios para derivar las métricas que los caracterizan (altura de la primera rama viva, densidad del dosel y fracción de cabida cubierta), además de operar con la unidad silvícola a la que se lleva a cabo la gestión forestal. Del mismo modo, los modelos de predicción del clima e interpolación espacial de variables climáticas son un componente fundamental para la simulación de la vegetación, pues proveen la información necesaria para evaluar el estado hídrico de los combustibles, además de permitir abordar otros aspectos relacionados con el peligro de incendio como la du-

ración de la temporada de incendios (Jolly et al., 2015) o el potencial de ignición y propagación del fuego (Martín et al., 2019; Rodrigues et al., 2019).

El proyecto FirePATHS tiene por objeto evaluar la evolución del peligro de incendio bajo distintos escenarios de concentración de emisiones (RCPs por sus siglas en inglés, “*Representative Concentration Pathways*”) y de gestión forestal mediante el estudio de la interacción explícita del sistema clima-vegetación-fuego. Para ello, se plantea un marco metodológico que combina distintos modelos de simulación de los elementos de dicho sistema. El núcleo del proceso reside en la modelización de la dinámica de la vegetación a escala de rodal (módulo *fordyn* del modelo *medfate*) en función de diversos escenarios climáticos (basados en los *Shared Socioeconomic Pathways*) y de gestión forestal para caracterizar el estado y tipología de los combustibles y la posterior simulación del comportamiento potencial del fuego (modelo *BehavePlus*; Andrews, 2014). La evaluación del peligro de incendio combinará tanto la evolución temporal del comportamiento del fuego como la ocurrencia de eventos extremos, caracterizada por la probabilidad de que ocurra un incendio y que este exceda la capacidad de contención con los medios disponibles. Así, el proyecto presenta una novedosa estrategia para la evaluación de posibles trayectorias de comportamiento del fuego en el contexto actual de cambio global. Con ello, pretende proporcionar al gestor forestal un marco científico de referencia para la implementación de es-

trategias de mitigación del riesgo de incendio. En este sentido, la metodología permitirá evaluar, entre otros, el potencial de intensidad de quema, probabilidad de fuego de copas, emisiones de carbono o la duración de la campaña de incendio. El objetivo último del proyecto es aportar y evaluar estrategias de

gestión eficaces para la mitigación del riesgo de incendio basadas en las principales narrativas y líneas de planificación en el contexto europeo (promoción del uso de la biomasa, de la provisión de servicios ecosistémicos o de la gestión del combustible mediante quemas prescritas).

2. Hipótesis y objetivos del proyecto

EN LA REGIÓN MEDITERRÁNEA se prevé un incremento de aridez asociado al aumento en la frecuencia de episodios de sequía y olas de calor como consecuencia del calentamiento global (Turco et al., 2018). Por otro lado, se esperan incendios forestales cada vez más frecuentes y de mayor magnitud y severidad, dada la creciente disponibilidad de combustible, la disminución de humedad del mismo y la prolongación de la temporada de incendios (Jolly et al., 2015). La combinación de estos fenómenos puede llevar a un incremento de las condiciones de peligro de incendio, potencialmente exacerbadas en ausencia de propuestas de gestión adecuadas. El objetivo central de FIREPATHS es avanzar en la comprensión de los efectos del cambio climático y, en particular, en el papel jugado por la dinámica de la vegetación en el sistema clima-vegetación-fuego. Para ello, el proyecto plantea un marco metodológico interdisciplinar en el que se integrarán datos de (i) inventario forestal, (ii) escenarios climáticos y de gestión, (iii) modelos de dinámica forestal, (iv) de comportamiento del fuego y (v) de ocupación del territorio para evaluar el impacto del cambio climático en el peligro de incendios forestales y la efectividad de las estrategias de gestión. El objetivo último es explorar las trayectorias más probables en la evolución del peligro de incendio (entendido como una medida de la amenaza relativa en función de la probabilidad de ocurrencia de incendios y el estado de los combustibles) teniendo en cuenta la interacción entre el clima, vegetación y fuego para mejorar la toma de decisiones en la gestión forestal y la mitigación del riesgo de incendio. Para ello, se propone un enfoque que combina varios modelos de simulación (clima-vegetación-fuego) bajo escenarios de cambio climático y gestión forestal proactiva. La hipótesis que sustenta el proyecto es que la evolución del peligro de incendio es dependiente no solo del clima, sino de la evolución de los combustibles y de las estrategias de gestión implementadas. El proyecto se estructura en torno a *cuatro objetivos interrelacionados*: (i) caracterizar la dinámica de la vegetación bajo distintos escenarios de cambio climático y gestión forestal; (ii) caracterizar de los combustibles y el comportamiento potencial del fuego; (iii) evaluar la probabilidad de ocurrencia de incendios extremos; y (iv) sintetizar de las trayectorias de peligro de incendio para determinar las consecuencias derivadas de la evolución climática y el alcance de las propuestas de gestión forestal.

El área de estudio del proyecto cubre el sector Mediterráneo de la Península Ibérica, extendiéndose sobre las Comunidades Autónomas de Cataluña, Aragón, Comunidad Valenciana y Región de Murcia. La metodología está diseñada para ser aplicada a escala de rodal, la unidad de gestión selvícola. Las parcelas de análisis comprenden comunidades forestales dominadas por especies comúnmente afectadas por el fuego en ambientes mediterráneos, principalmente pinares de pino carrasco y laricio. Se trata de comunidades de especies germinadoras que muestran estrategias de recuperación post-incendio distintas. La recuperación en comunidades de pino laricio se cree se da generalmente “por pulsos”, necesitando de ventanas de oportunidad climática para su establecimiento. La regeneración en los bosques de pino carrasco, generalmente más exitosa al tratarse de una especie serótina, puede verse comprometida en un escenario conducente a años climáticos extremos debido a la baja longevidad de los bancos de semillas.

El proyecto contribuirá a mejorar nuestro conocimiento sobre los bosques y el riesgo de incendios forestales en el contexto actual de incertidumbre ambiental. La consideración explícita de la dinámica de la vegetación no sólo permite evaluar el riesgo de incendio forestal sino también otros bienes y servicios asociados como la disponibilidad de recursos maderables y su potencial de almacenamiento de carbono, entre otros. La evaluación del peligro de incendio bajo escenarios de cambio climático, pero también de gestión forestal, mejorará sin duda la prevención y la preparación, reforzando nuestra seguridad frente a tales eventos. El proyecto permitirá identificar los umbrales de peligro que podrían amenazar los bienes humanos y ambientales, orientar los tratamientos de combustible o reforzar las medidas de prevención de incendios.

Agradecimientos

ESTE TRABAJO HA SIDO FINANCIADO por el Ministerio de Ciencia e Innovación, proyecto FIREPATHS (PID2020-116556RA-I00) y el Gobierno de Aragón (Geoforest S51_20R/S51_23R cofinanciado FEDER “Construyendo Europa desde Aragón”).

3. Bibliografía

- Alcasena, F. J., Ager, A. A., Bailey, J. D., Pineda, N. y Vega-García, C. (2019). Towards a comprehensive wildfire management strategy for Mediterranean areas: Framework development and implementation in Catalonia, Spain. *Journal of Environmental Management*, 231, 303-320. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.027>
- Andrews, P. L. (2014). Current status and future needs of the BehavePlus Fire Modeling System. *International Journal of Wildland Fire*, 23(1), 21-33.
- Barbero, R., Curt, T., Ganteaume, A., Maillé, E., Jappiot, M. y Bellet, A. (2019). Simulating the effects of weather and climate on large wildfires in France. *Natural Hazards and Earth System Science*, 19, 441-454.
- Bedia, J., Herrera, S., Camia, A., Moreno, J. M. y Gutiérrez, J. M. (2014). Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios. *Climatic Change*, 122(1-2), 185-199. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1005-z>
- Blanco, J. A., Ameztegui, A. y Rodríguez, F. (2020). Modelling Forest Ecosystems: A crossroad between scales, techniques and applications. *Ecological Modelling*, 425, 109030. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109030>
- Cervera, T., Pino, J., Marull, J., Padró, R. y Tello, E. (2019). Understanding the long-term dynamics of forest transition: From deforestation to afforestation in a Mediterranean landscape (Catalonia, 1868–2005). *Land Use Policy*, 80, 318-331. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.10.006>
- De Cáceres, M., Molowny-Horas, R., Cabon, A., Martínez-Vilalta, J., Mencuccini, M., García-Valdés, R., Nadal-Sala, D., Sabaté, S., Martin-StPaul, N., Morin, X., D'Adamo, F., Batllori, E. y Améztegui, A. (2023). MEDFATE 2.9.3: A trait-enabled model to simulate Mediterranean forest function and dynamics at regional scales. *Geoscientific Model Development*, 16(11), 3165-3201. <https://doi.org/10.5194/gmd-16-3165-2023>
- Fernandes, P. M. (2013). Landscape and Urban Planning Fire-smart management of forest landscapes in the Mediterranean basin under global change. *Landscape and Urban Planning*, 110, 175-182. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.10.014>
- Hansen, W. D., Abendroth, D., Rammer, W., Seidl, R. y Turner, M. G. (2020). Can wildland fire management alter 21st-century subalpine fire and forests in Grand Teton National Park, Wyoming, USA? *Ecological Applications*, 30(2), e02030. <https://doi.org/10.1002/eap.2030>
- Jolly, W. M., Cochrane, M. a, Freeborn, P. H., Holden, Z. a, Brown, T. J., Williamson, G. J. y Bowman, D. M. J. S. (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature communications*, 6(May), 7537. <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>
- Kim, J. B., Monier, E., Sohngen, B., Pitts, G. S., Drapek, R., McFarland, J., Ohrel, S. y Cole, J. (2017). Assessing climate change impacts, benefits of mitigation, and uncertainties on major global forest regions under multiple socioeconomic and emissions scenarios. *Environmental Research Letters*, 12(4), 045001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa63fc>
- Martín, Y., Zúñiga-Antón, M. y Rodrigues Mimbbrero, M. (2019). Modelling temporal variation of fire-occurrence towards the dynamic prediction of human wildfire ignition danger in northeast Spain. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 385-411.
- Morán-Ordóñez, A., Ameztegui, A., Cáceres, M. D., de-Miguel, S., Lefèvre, F., Brotons, L. y Coll, L. (2020). Future trade-offs and synergies among ecosystem services in Mediterranean forests under global change scenarios. *Ecosystem Services*, 45, 101174. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101174>
- Rodrigues, M., Alcasena, F. y Vega-García, C. (2019). Modeling initial attack success of wildfire suppression in Catalonia, Spain. *Science of The Total Environment*, 666, 915-927. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.323>
- Scheller, R. M., Domingo, J. B., Sturtevant, B. R., Williams, J. S., Rudy, A., Gustafson, E. J. y Mladenoff, D. J. (2007). Design, development, and application of LANDIS-II, a spatial landscape simulation model with flexible temporal and spatial resolution. *Ecological Modelling*, 201(3), 409-419. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.10.009>

- Seidl, R., Rammer, W., Scheller, R. M. y Spies, T. A. (2012). An individual-based process model to simulate landscape-scale forest ecosystem dynamics. *Ecological Modelling*, 231, 87-100. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.02.015>
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M. J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T. A. y Reyer, C. P. O. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7(6), 395-402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>
- Sheehan, T., Bachelet, D. y Ferschweiler, K. (2019). Fire, CO₂, and climate effects on modeled vegetation and carbon dynamics in western Oregon and Washington. *PLoS One*, 14(1), e0210989-e0210989. PubMed. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210989>
- Syphard, A. D., Sheehan, T., Rustigian-Romsos, H. y Ferschweiler, K. (2018). Mapping future fire probability under climate change: Does vegetation matter? *PLoS ONE*, 13(8), 1-23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201680>
- Turco, M., Rosa-Cánovas, J. J., Bedia, J., Jerez, S., Montávez, J. P., Llasat, M. C. y Provenzale, A. (2018). Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models. *Nature Communications*, 9(1), 3821. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06358-z>