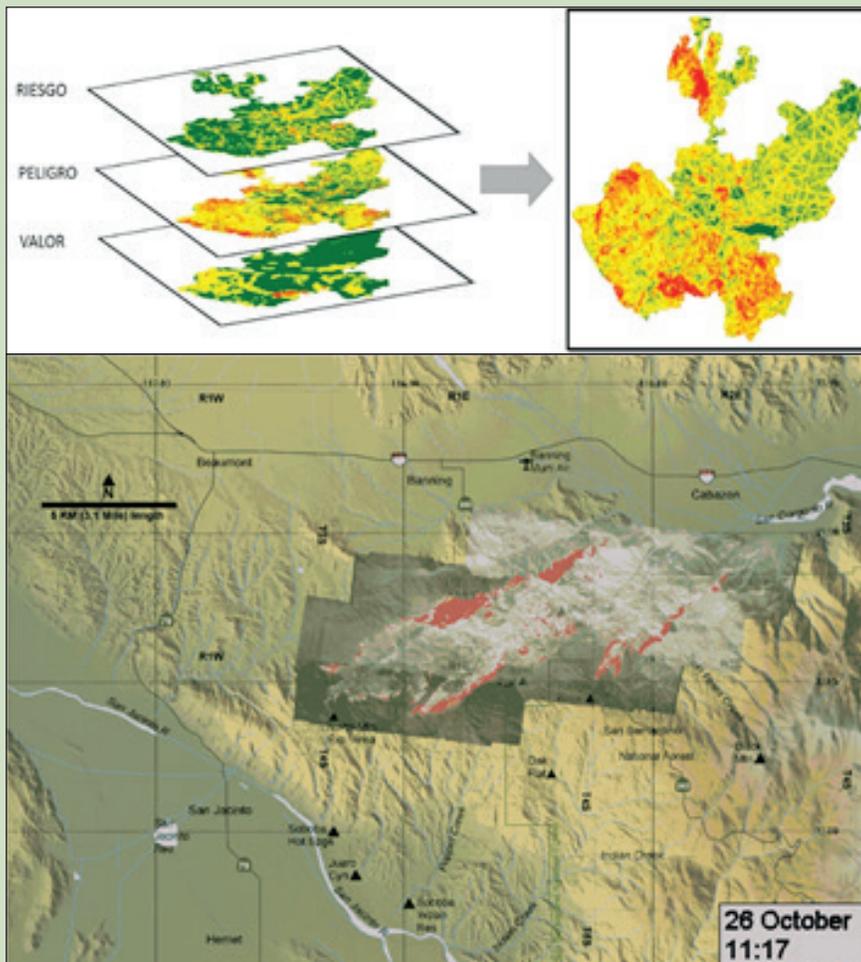


# Memorias del Quinto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación, y Economía de los Incendios Forestales: Servicios Ambientales e Incendios Forestales



El Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los EE.UU. está dedicado al principio de manejo de usos múltiples de los recursos forestales de la Nación para el flujo sostenido de madera, agua, forraje, vida silvestre y la recreación. Siguiendo el mandato del Congreso, trata de proveer una cantidad mayor de servicios a una Nación en crecimiento a través de investigaciones forestales, la cooperación con los Estados y los dueños de bosques privados, y el manejo de los Bosques Nacionales y las Tierras de Pastos Nacionales.

El Departamento de Agricultura de los EE.UU. (USDA, siglas en inglés) prohíbe la discriminación en todas sus actividades y programas por razones de raza, color, nacionalidad de origen, edad, discapacidad; y cuando sea aplicable, por razones de sexo, condición civil, condición familiar, condición de paternidad, religión, preferencia sexual, información genética, convicciones políticas, revanchismo, o porque una parte o todo del sustento económico de la persona provenga de los programas de beneficencia pública (no todas las prohibiciones aplican a todos los programas). Las personas con discapacidad que necesiten medios alternativos para recibir información sobre los programas (Braille, impresos grandes, cintas de audio u otros) deben contactar el Centro TARGET del USDA al teléfono (202) 720-2600 (voz y TDD). Para establecer una querrela sobre discriminación, por favor escriba a USDA, Director, Oficina de Derechos Civiles, 1400 Independence Avenue, SW, Washington, DC 20250-9410 ó llame al (800) 795-3272 (voz) o (202) 720-6382 (TDD). El USDA es un empleador que provee oportunidades iguales para todos.

## **Coordinadores Técnicos**

**Armando González-Cabán y José J. Sánchez** son economista investigador y estadístico investigador respectivamente, Departamento de Agricultura de los EE.UU., Servicio Forestal, Estación de Investigación del Pacífico Suroeste, 4955 Canyon Crest Drive, Riverside, CA 92507.

Los trabajos fueron provistos por los autores listos para publicación. Los autores son responsables por la exactitud y el contenido de los mismos. Las opiniones expresadas no reflejan necesariamente la posición del Departamento de Agricultura.

# **Memorias del Quinto Simposio Internacional Sobre Políticas, PI- anificación y Economía de los In- cendios Forestales: Servicios Am- bientales e Incendios Forestales**

**Armando González-Cabán y José J. Sánchez**  
Coordinadores Técnicos

Departamento de Agricultura de los EE.UU., Servicio Forestal  
Estación de Investigación del Pacífico Suroeste  
Albany, California  
Informe Técnico General PSW-GTR-261  
Febrero 2019

## Resumen

**González-Cabán, Armando; Sánchez, José J. 2019.** Memorias del quinto simposio internacional sobre políticas, planificación y economía de los incendios forestales: servicios ambientales e incendios forestales; 14–18 noviembre de 2016; Tegucigalpa, Honduras Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-261, (Español). Albany, CA: Departamento de Agricultura de los EE.UU., Servicio Forestal, Estación de Investigación del Pacífico Suroeste. 267 p.

Estas memorias resumen el resultado de un simposio diseñado para discutir los problemas actuales que confrontan las agencias con responsabilidad para la protección contra incendios forestales a nivel federal y estadual en los EE.UU., al igual que agencias en la comunidad internacional. Los temas discutidos en el simposio incluyen servicios ambientales e incendios forestales: perspectiva nacional e internacional, teoría y modelos para la planificación estratégica de incendios, análisis económico y el manejo integral del fuego, incendios forestales y manejo sustentable de bosques, políticas públicas (nacionales e internacionales) e impacto sobre el problema de incendios forestales, una sesión de pósteres presentando ejemplos de planes de manejo de incendios y asignación estratégica de recursos para el manejo de incendios, y una mesa redonda discutiendo los servicios ambientales y los incendios forestales, y la cooperación internacional. Representantes de agencias internacionales de 12 países con responsabilidad de protección contra incendios forestales presentaron y discutieron sus experiencias sobre estos temas. En el simposio se presentaron 24 ensayos invitados y voluntarios, y 20 pósteres que discutieron los tópicos y presentaron técnicas actualizadas para tratar los temas de políticas, planificación, y economía de incendios forestales a administradores de terrenos y de programas de manejo del fuego.

Palabras clave: Economía del fuego, valoración de intangibles, política pública y el manejo de incendios forestales, planificación estratégica de incendios forestales, política pública y manejo de incendios forestales

## Prefacio

Señores miembros DE la Mesa Principal, Distinguido Sr. Rector de la Universidad Nacional de Ciencias Forestales, Dr. Emilio Esbeih, Distinguido Sr. Secretario de Estado de la Secretaría de Mí Ambiente, Ing. José Galdámez, Distinguido Sr. Director del Instituto de Conservación Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre, Ing. Misael León Carvajal. Autoridades presentes, Estimados colegas, Señoras y Señores. Buenos Días para todos y todas los que nos acompañan durante esta mañana y el resto de la semana. Antes que nada quiero darles las más sinceras gracias por recibirnos en su hermoso país y permitirnos disfrutar de su hospitalidad. Tuve la oportunidad de vivir en Honduras en los años del 1991 al 1992 cuando participe como asesor de la entonces COHDEFOR en un proyecto de manejo forestal. Fue una estadía agradable en la que hice muy buenas amistades. Me alegro mucho de retomar mi contacto con Honduras y de establecer nuevas amistades y contactos. A continuación quiero compartir con ustedes una breve explicación de la razón para el simposio y los objetivos del mismo.

Durante las primeras décadas del siglo 21, los costos del manejo de fuegos han ido en continuo aumento debido, en gran parte, al alza en los gastos relacionados con la extinción de grandes incendios forestales, a veces llamados Mega Incendios. Incendios frecuentes de grandes proporciones han producido enormes costos debido a la pérdida de vidas, propiedad y recursos naturales. Además, cada vez se reconoce más la ineficacia de combatir incendios en ecosistemas donde las, hoy consideradas obsoletas, políticas de exclusión del fuego han causado una acumulación peligrosa de combustible. Esta situación no es única de los Estados Unidos (EE.UU.) y se repite en países como Australia, Canadá, España, Italia y Portugal; y en países latinoamericanos como Argentina, Chile, Costa Rica, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá y Colombia, que sufren serios problemas de incendios forestales. En la cuenca del Caribe, países como Cuba y la República Dominicana también atraviesan por situaciones similares.

Las presiones de índole social y política, como las que se presentan en las zonas de la interfaz urbana forestal y áreas de usos múltiples, representan trabas a la implementación de los recientes cambios de filosofía en las instituciones con respecto al manejo sustentable de ecosistemas. No se consideran las repercusiones económicas de otras estrategias de manejo. Puede que los gastos ocasionados por los grandes incendios guarden poca relación con el valor de lo que está en peligro. Las herramientas de análisis con las que contamos actualmente para justificar las asignaciones presupuestarias y demostrar los beneficios pocas veces toman en consideración todos los factores que contribuyen a los costos del manejo de incendios y a los cambios en los valores netos. Recientemente, muchos países han reconocido la necesidad de analizar, desde un punto de vista económico, las inversiones que hacen en el manejo de los incendios forestales; y el impacto de los incendios forestales sobre los servicios ambientales. Sin embargo, pocos han desarrollado las herramientas necesarias para realizar esta tarea. Por otra parte, la creciente incertidumbre operacional en las estrategias de combate, repercute en el uso ineficiente de los medios de extinción. Es importante incorporar el conocimiento de la productividad de los medios de extinción en relación con las dificultades operacionales en la búsqueda de soluciones de gestión eficiente.

No solo en EE.UU. han reconocido la importancia de optimizar los costos del manejo de los incendios, pero el progreso hacia este fin ha sido lento, vacilante y difícil. Las recomendaciones contenidas en varios estudios que reexaminaron la política de extinción de incendios después de varias desastrosas temporadas de incendios de los años 2000, 2003, y más recientes en 2008, 2013 y 2014 señalan la necesidad de un foro en el que los responsables de formular políticas públicas, las entidades que administran los recursos naturales, los especialistas en manejo de incendios, y los profesionales relacionados con la materia puedan intercambiar ideas y aprender de las inquietudes y experiencias comunes. Las dificultades experimentadas en las recientes temporadas de incendios forestales del 2010 al 2014

hacen patente la urgencia de retomar el diálogo sobre el tema y buscar soluciones integrales al problema.

En la primavera de 2012 se celebró en Ciudad de México, México, el IV Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales para lidiar con los problemas delineados aquí. Los avances presentados en las cuatro ediciones anteriores del simposio han demostrado que no se puede abordar la toma de decisión olvidando la perspectiva económica en el diseño y puesta en valor de medidas de protección y defensa. Desde entonces, sucesos desastrosos en las temporadas de incendios de 2010 al 2015 en países como Australia, China, España, Estados Unidos y Rusia, entre otros, han exacerbado el problema. Ha habido muchos cambios en las políticas sobre el manejo de incendios en respuesta a los nuevos desafíos. Nuevamente es necesario reunir a la comunidad de administradores y profesionales de las instituciones con responsabilidad por el manejo de incendios forestales, a los encargados de administrar los recursos naturales, investigadores, técnicos forestales, economistas, estudiantes y responsables de la política pública para discutir problemas, experiencias y respuestas recientes a la problemática de los incendios forestales.

El propósito del simposio propuesto es 1) reunir a individuos interesados en el intercambio de ideas relacionadas con la economía, la planificación y las políticas de manejo de los incendios forestales; 2) dar a conocer los avances y tecnologías más recientes dirigidas a optimizar los gastos del manejo de incendios; 3) explorar las relaciones entre los incendios forestales y los servicios ambientales a nivel nacional e internacional, incluyendo la valoración económica de los efectos de los incendios sobre los servicios ambientales; 4) políticas públicas y el manejo de los bosques; 5) evaluar como las relaciones internacionales pueden ayudar en reducir el impacto de los incendios forestales en los servicios ambientales; y 6) compartir los adelantos recientes en los modelos para la planificación estratégica del manejo de incendios forestales.

Con estos objetivos en mente aprovechemos este foro para comunicar los conocimientos desarrollados, compartir experiencias y aprender unos de otros para mejorar la respuesta al problema del manejo de incendios forestales y entender su relación con los servicios ambientales producto de los recursos forestales, y la integración del análisis económico a los programas de manejo de incendios forestales.

Gracias,  
Armando González Cabán, PhD  
Tegucigalpa, Honduras  
15 de noviembre de 2016

## Contenidos

- 1 Relaciones internacionales para reducir los impactos de incendios forestales: historia y algunos pensamientos

*Pieter VanLierop, Peter F. Moore*

- 17 La evolución de la valoración de los daños no mercantiles de los incendios forestales: un análisis intertemporal

*Jeffrey Englin*

- 27 FireBuster: una herramienta para la gestión del fuego

*John W. Benoit, Shy-Chin, Chen*

- 42 Desarrollo de un Sistema Nacional de Peligro de Incendios para México

*Daniel J. Vega-Nieva, María G. Nava-Miranda, Erik Calleros-Flores, Pablito M. López-Serrano, Jaime Briseño-Reyes, Favian Flores Medina, Carlos López-Sánchez, José J. Corral-Rivas, Armando González-Cabán, Ernesto Alvarado-Celestino, Isabel Cruz, Rainer Ressler, Albert Setzer, Fabiano Morelli, Diego Pérez-Salicrup, Enrique Jardel-Pelaez, Citlali Cortes-Montaño, José A. Vega, Enrique Jimenez*

- 53 Mecanismos de coordinación para el manejo de incendios forestales en el Municipio del Distrito Central

*Carlos R. Velásquez, Sua Gallardo*

- 55 Coordinación e inclusión en la vigilancia, prevención y combate de incendios forestales en el Estado de Puebla

*Misael García Hernández*

- 57 El reto del desarrollo de capacidades técnicas de manejo de fuego en Latinoamérica

*Oscar Gerardo Rodríguez Chávez*

- 59 La disposición de los hogares minoritarios a pagar por la reducción de riesgo de incendios forestales públicos y privados en la Florida

*Armando González-Cabán, José J. Sánchez*

- 78 ¿Los tratamientos de reducción de combustible forestal reducen los costos de supresión de incendios forestales y daños a la propiedad? Un análisis multiregional a nivel nacional de determinantes de los costos de extinción de incendios forestales del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y daños a los incendios forestales

*John Loomis, Armando González-Cabán, José J. Sánchez, Douglas Rideout, Vanessa Bravo*

- 95 Análisis de costos de reducción de combustible de incendios forestales: Modelado estadístico y modelo de usuario para especialistas en incendios en California  
*John Loomis, Sam Collie, Armando González-Cabán, José J. Sánchez, Douglas Rideout*
- 107 Factores socioeconómicos que afectan a los incendios forestales: Un estudio de caso de Antalya, Turquía  
*Ufuk Coşgun, Ali Kavgacı, Cumhuri Güngöroğlu, Armando González-Cabán*
- 109 El análisis económico del riesgo y la elección bajo incertidumbre en la Planificación del paisaje en relación con los incendios forestales  
*Francisco Rodríguez y Silva*
- 126 Una comparación de los hogares de la interfaz urbana de la zona urbana WTP para los programas de reducción del riesgo de incendios forestales en California y Florida  
*José J. Sánchez, John Loomis, Armando González-Cabán, Tom Holmes*
- 146 La Integración de Herramientas Económicas y Teledetección en la Evaluación del Impacto de los Incendios Forestales: Incendio de “Alhama de Almería (España)  
*Juan Ramón Molina, Francisco Rodríguez y Silva, Laura Ruiz*
- 160 Factores que afectan a los incendios forestales en las provincias forestales de Serik y Taşagıl (SW Anatolia, Turquía)  
*Ufuk Coşgun, Armando González-Cabán*
- 182 Modelo econométrico para el diagnóstico y evaluación de costos en la planificación de quemas prescripciones en el paisaje forestal  
*Francisco Rodríguez y Silva*
- 184 ¿Cómo se perciben y controlan los riesgos sociopolíticos en grandes incendios?  
*Armando González-Cabán, Donald G. MacGregor*
- 201 Proceso Estandarizado para Generar Cartografía de Áreas Prioritarias Contra Incendios Forestales  
*José Germán Flores Garnica et al.*
- 217 La experiencia de los incentivos forestales como herramienta en la reducción del impacto de los incendios forestales en Guatemala  
*Mairon Méndez, Byron Palacios*
- 219 Estrategia Latinoamericana de Fortalecimiento Académico para Manejo del Fuego  
*Andrés Nájera Díaz*

236 Factores de riesgo como estrategia para validar la priorización de áreas contra incendios forestales

*José German Flores Garnica, Uri David Casillas, Alejandra Macías Muro*

250 Valoración del impacto económico de incendios forestales sobre el recurso paisaje y ocio-recreo

*Juan Ramón Molina, Francisco Rodríguez y Silva, Miguel Ángel Herrera*

262 Talleres Participativos con Expertos Sobre Ambientes de Fuego en México para Generar Información de Camas de Combustibles Forestales

*Héctor Leonardo Martínez-Torres, Karla Argelia Ocegüera-Salazar, Erika Garduño-Mendoza, Teodoro Carlón-Allende, Enrique Jardel-Pelaez, Shatya D. Quintero-Gradilla, Juan Manuel Rodríguez, Martina Cruz-Zamora, Diego R. Pérez-Salicrup*

264 La influencia del cambio climático en la vegetación arbórea: Caso Parque Nacional “Cerro Azul” Meámbar (PANACAM), Honduras

*Luis Bejarano, Antonio Chavarría*

266 Rol protagónico de los pueblos originarios en el manejo de desastres naturales

*Arnaldo Bueso*

# **Relaciones internacionales para reducir los impactos de los incendios forestales – algo de Historia y algunas reflexiones<sup>1</sup>**

**Pieter van Lierop y Peter F Moore<sup>2</sup>**

## **Resumen**

En este trabajo, describimos las actividades internacionales realizadas por la FAO y sus pares a través del tiempo y hacemos una reflexión sobre el rol de las relaciones internacionales en reducir los efectos de los incendios forestales en los servicios ambientales. Por mucho tiempo la FAO ha tenido un enfoque en el manejo de los incendios forestales y ha sido uno de los organismos internacionales en facilitar el desarrollo de un enfoque comprensivo del Manejo Integrado de los Incendios mediante la aplicación de la 5 Rs: Revisión y Análisis, reducción de Riesgo, Preparación (en inglés Readiness), Respuesta a los Incendios y Recuperación. Siendo una institución global neutral, la FAO alberga secretarías para redes regionales y globales de manejo de incendios forestales igual que cuerpos relevantes estatutorios de la FAO. Los incendios forestales queman todos los años millones de hectáreas de rodales forestales y otra vegetación, causando la pérdida de vida humana y de animales, y un daño económico enorme, tanto en términos de costos de supresión como de recursos destruidos. También hay impactos en el medioambiente y en la sociedad. Hay casos donde los incendios forestales tienen consecuencia en el alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y en otros casos puede amenazar su éxito. El Manejo Integrado de los Incendios sustentado en una base de datos e información rica, científicamente válida, y afianzada en las comunidades contribuirá al éxito de los ODS y la implementación del Acuerdo de París. Existen muchos acuerdos bilaterales de cooperación entre países para atender la supresión, y se han formado redes regionales para reforzar las capacidades de manejo del fuego, y todas promueven el manejo integrado del fuego, pero no todas han sido exitosa o eficientes. Podemos concluir que el éxito de los esfuerzos internacionales en el manejo integrado del fuego, o cualquier intercambio en los incendios, ha sido limitado. No hay duda que las relaciones internacionales pueden contribuir a la reducción de los impactos de los incendios forestales. El modo más

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este documento fue presentada en el Quinto Simposio Internacional sobre Economía, Planificación y Política de Incendios: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Pieter VanLierop - [Pieter.VanLierop@fao.org](mailto:Pieter.VanLierop@fao.org) - Oficial Forestal Grupo de Recursos Naturales, Gestión de Riesgos y Cambio Climático Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) Oficina Subregional para Mesoamérica Edificio 238, , Ciudad del Saber, Clayton, Panamá. Peter F Moore – [peter.moore@fao.org](mailto:peter.moore@fao.org) - Consultant Forest Fire Management & Disaster Risk Reduction Forestry Policy and Resources Division FAO-Forestry Department Viale delle Terme di Caracalla I-00153 Rome

fuerte de esto es a través de intercambios y cooperación, soluciones conjuntas de los problemas, y compartir experiencias en el manejo de incendios e investigación en vez de agrupar recursos de combate. A este respecto se debe de apoyar y promover los grupos de trabajo y las redes existentes.

Palabras claves: Arreglos internacionales de incendios, FAO, incendios, manejo integrado de incendios, redes

## **Introducción**

La(s) problemática(s) de los incendios forestales y los servicios de los ecosistemas es amplia pero crítica y parece serlo cada vez más. Ya hemos visto el año pasado que los bosques de turba de Indonesia se quemaron de nuevo y el incendio en Fort McMurray, Alberta; ambos impactaron sobre los servicios que esperamos de nuestros paisajes (pero generalmente no los vemos muy claramente y tendemos a tomarlos por sentado).

En este trabajo describimos las actividades internacionales que la FAO ha emprendido con los socios a lo largo de los años y algunos que están en proceso y en planificación. Habiendo establecido esos elementos, reflexionamos sobre el papel de las relaciones internacionales en la reducción de los impactos de incendios forestales en los servicios de los ecosistemas.

## **Papel y mandato de manejo del fuego de la FAO**

La Reunión Ministerial de la FAO sobre los Bosques y la 17ª sesión del Comité Forestal de la FAO, celebradas en marzo de 2005 (Roma, Italia 2005), pidieron a la FAO, en colaboración con países y otros socios internacionales, incluida la UNISDR, desarrollar una estrategia para mejorar la cooperación internacional en manejo del fuego con el fin de avanzar los conocimientos, aumentar el acceso a la información y los recursos y explorar nuevos enfoques para la cooperación a todos los niveles. También pidieron la elaboración de directrices voluntarias sobre la prevención, supresión y recuperación de los incendios forestales. La necesidad de este tipo de herramientas para ayudar en la cooperación internacional también se destacó en la 3ª Conferencia Internacional de Incendios Forestales y en la Cumbre Internacional de Incendios Forestales (Sydney, Australia 2003) debido a la creciente incidencia y severidad de los impactos de los grandes incendios a nivel global.

Una consulta de expertos internacionales sobre incendios forestales (Madrid, mayo de 2006) acordó que la estrategia no jurídicamente vinculable para el

Fortalecimiento de la Cooperación Internacional en el Manejo del Fuego incluye el marco general y cuatro componentes:

1. Directrices Voluntarias de Manejo del Fuego;
2. Asociación para la Aplicación;
3. Evaluación Global del Manejo del Fuego; y
4. Revisión de la Cooperación Internacional en el Manejo del Fuego.

Estas herramientas se han diseñado principalmente para los elaboradores de políticas del uso de la tierra, los planificadores y administradores del manejo del fuego, incluidos los gobiernos, el sector privado y las organizaciones no gubernamentales para ayudar en la formulación de condiciones políticas, legales, normativas y otras condiciones capacitadoras y acciones estratégicas para enfoques más holísticos para el manejo del fuego. Su alcance incluye los impactos positivos y negativos a nivel social, cultural, ambiental y económico de los incendios naturales y planificados en bosques, arboledas, praderas, pastizales, paisajes agrícolas y urbanos y rurales. El alcance del manejo del fuego incluye la alerta temprana, la prevención, la preparación (internacional, nacional, subnacional y comunitaria), el ataque inicial seguro y eficaz sobre las incidencias de incendio y la restauración del paisaje después del incendio.

La FAO se ha centrado durante mucho tiempo en el manejo de los incendios forestales y ha sido una de las organizaciones internacionales que han facilitado el desarrollo de un enfoque integral del manejo del fuego mediante la aplicación de los 5 pasos (5 Rs en inglés); Revisión y Análisis, Reducción de Riesgos, Preparación, Respuesta a Incendios y Recuperación.

Muchos participantes se ocupan de los incendios desde diferentes ángulos y en diferentes niveles: ONGs que apoyan el desarrollo de la comunidad; Empresas forestales; Centros de investigación de detección remota; organizaciones gubernamentales responsables de la agricultura, la silvicultura, la cooperación internacional y la protección civil. Es esencial la coordinación, la comunicación y un mejor intercambio de experiencias entre todos los participantes.

En este esfuerzo continuo, la FAO ha trabajado junto y en asociación con la UNISDR, la OMM, la OMS y otros organismos, inclusive a través de las Comisiones Regionales Forestales en todo el mundo. La FAO ha aportado una valiosa serie de publicaciones, proyectos, programas y servicios a sus países miembros y ha colaborado con muchos otros organismos, organismos multilaterales, asociados para el desarrollo, ONG y ONGs internacionales y redes. Colaborando con estos asociados y los países miembros, la FAO seguirá apoyando, dirigiendo y creando publicaciones técnicas de relevancia directa en apoyo al manejo integral del fuego que constituyen buenas prácticas y apoyen la aplicación de estas prácticas a nivel de políticas y de campo.

La FAO cuenta con una red de Comisiones Regionales Forestales, integrada por los organismos de manejo forestal de los países miembros. La FAO estableció seis Comisiones Regionales Forestales entre 1947 y 1959. Cada dos años, las Comisiones reúnen a los Jefes del Departamento Forestal de cada una de las principales regiones del mundo para abordar los problemas forestales más importantes de la región. Las Comisiones consideran tanto cuestiones políticas como técnicas. Las comisiones desempeñan un papel fundamental en el arreglo internacional sobre los bosques, sirviendo como enlace entre el diálogo mundial en el Comité de Bosques (en inglés COFO) y el Foro de las Naciones Unidas sobre los Bosques (en inglés FNUB), y la implementación nacional. Las Comisiones Regionales Forestales también participan activamente entre sesiones formales. La mayoría de las Comisiones cuentan con grupos de trabajo técnicos o capítulos subregionales que implementan proyectos que se benefician de la colaboración entre los países de la región.

Como institución global neutral, la FAO alberga secretarías para las redes mundiales y regionales sobre manejo del fuego, así como un cuerpo estatutario de la FAO pertinente:

- La Alianza de Acciones de Manejo del Fuego que promueve el manejo integral del fuego a través del uso de las Guías Voluntarias de Manejo del Fuego;
- El Equipo de Especialistas de la UNECE / FAO sobre Incendios Forestales;
- Silva Mediterranea es un cuerpo estatutario de la FAO que abarca la región del Mediterráneo y es un foro para asesorar y tomar medidas sobre cuestiones forestales clave para los países mediterráneos y también cuenta con un grupo de trabajo sobre incendios forestales.

La FAO es miembro de la Red Europea de Información sobre Incendios Forestales (en inglés EFFIS) (<http://forest.jrc.ec.europa.eu/effis/about-effis/effis-network>) de la Unión Europea, que se reúne dos veces al año, es decir, antes y después de la temporada principal de incendios. La FAO también es miembro del Grupo Asesor sobre Incendios Forestales, que reúne las redes regionales y los grupos de trabajo existentes y que se reúne una vez al año.

La FAO trabaja con una amplia gama de organizaciones internacionales, donantes multi- y bilaterales, instituciones regionales y nacionales, gobiernos, instituciones académicas y de investigación, ONG internacionales y nacionales, sector privado (empresas y pequeños agricultores), sociedad civil y otras partes interesadas. Se incluyen las organizaciones que trabajan directa o indirectamente con el manejo del fuego, tales como:

- Investigación de Incendios, CIFOR
- Centro Mundial de Vigilancia de Incendios (en inglés GFMC)
- Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios (en inglés UN-OCHA)
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (en inglés UN-ISDR)

- Servicio Forestal USDA
- ITTO

A lo largo de los años, la FAO ha implementado más de 60 proyectos sobre el terreno en unos 40 países, junto con otros organismos de las Naciones Unidas y varios donantes bilaterales. En estos proyectos se hace hincapié en la necesidad de enfoques integrados y participativos para el manejo del fuego, incluida la participación de la población local en la planificación y ejecución de los programas; en la prevención, detección y control de los incendios forestales; y en la gestión racional del manejo del fuego como herramienta en la gestión de las tierras agrícolas, de pastoreo y forestales. Cada proyecto también cuenta con un fuerte componente de desarrollo de la capacidad del país y de la revisión jurídica.

## **Incendios en el Contexto Global**

La estimación global de la superficie afectada por el fuego en 2000 fue de 350 millones de hectáreas, en gran parte de bosques y arboledas. La mayor parte del área quemada se encontraba en África subsahariana, seguido a cierta distancia por Australia (Evaluación global del manejo del fuego 2006). Ha habido una serie de evaluaciones llevadas a cabo desde entonces y los temas de incendios, daños y pérdidas incluyendo los servicios de los ecosistemas restantes y están en escala mundial.

El papel del fuego en la vegetación del mundo es mixto. En algunos ecosistemas, los incendios naturales son esenciales para mantener la dinámica de los ecosistemas, la biodiversidad y la productividad. El fuego también es una herramienta importante y ampliamente utilizada para alcanzar los objetivos de la gestión de las tierras. Sin embargo, cada año, los incendios forestales queman millones de hectáreas de bosques y otra vegetación, causando la pérdida de muchas vidas humanas y animales y un inmenso daño económico, tanto en términos de recursos destruidos como de costos de supresión. También hay repercusiones en la sociedad y el medio ambiente, por ejemplo, el daño a la salud humana debido al humo, la pérdida de diversidad biológica, la liberación de gases de efecto invernadero, los daños a los valores recreativos y la infraestructura. Todos los valores de los ecosistemas están siendo afectados por los incendios.

La mayoría de los incendios son causados por personas. La lista de causas provocadas por el hombre incluye la limpieza de terrenos y otras actividades agrícolas, el mantenimiento de pastizales para la gestión del ganado, la extracción de productos forestales no madereros, el desarrollo industrial, el reasentamiento, la caza, la negligencia y el incendio premeditado. Sólo en zonas muy remotas de Canadá y la Federación Rusa una de las principales causas de incendios son los rayos.

Hay evidencia en algunas regiones de que la tendencia está enfocada hacia incendios que afectan a un área mayor y queman con mayor severidad, mientras que el riesgo de incendio puede aumentarse bajo el cambio climático en asociación con los cambios en el uso de la tierra y las restricciones institucionales sobre manejo sustentable forestal y del fuego.

Según 11 años de datos satelitales de imágenes de Resolución Moderada de Espectro Radiométrico (en inglés MODIS) para Tanzania, 10 a 14 por ciento de la superficie se quema cada año, o aproximadamente 11 millones de hectáreas en un país de 88 millones de hectáreas. Se encontró que las áreas protegidas, reservas de caza, áreas de control de caza y las reservas forestales constituían una proporción significativa de la zona quemada.

En el año 2015, se incendiaron tres áreas protegidas en Chile en la Reserva Nacional China Muerta, la Reserva Nacional Nalca Lolco y el Parque Nacional Conguillio: 4 500 hectáreas fueron afectadas. Los científicos en Chile están prediciendo que para 2050 la precipitación promedio caerá significativamente como resultado del cambio climático. Se espera que esto aumente el riesgo de incendios forestales.

En mayo de 2016, los incendios forestales forzaron la mayor evacuación en la historia de Alberta, Canadá, cuando más de 85 000 personas abandonaron Fort McMurray ante incendios provocados por fuertes vientos y un prolongado período de sequía. Más de 2 600 viviendas y otras estructuras fueron destruidas por los incendios forestales, que quemaron más de 241 000 hectáreas. El tamaño, la gravedad y la intensidad de los incendios forestales de Fort McMurray superaron todo lo que los planes de manejo del fuego habían previsto. Los incendios afectaron la ciudad, la comunidad colindante, y la provincia de Alberta y Canadá en su conjunto. Los investigadores de incendios forestales notaron que este enorme incendio fue consistente con los cambios esperados en el régimen de incendios de Canadá como resultado del cambio climático.

### **Directrices voluntarias para el manejo del fuego**

La FAO ha coordinado el desarrollo de las Directrices Voluntarias para el manejo del fuego destinadas a ayudar a los países a desarrollar un enfoque integral del manejo del fuego, desde la prevención y preparación hasta la supresión y restauración.

Las directrices de la FAO recomiendan a las autoridades y otros grupos interesados en que la lucha contra los incendios debe ser parte integrante de una política coherente y balanceada aplicada no sólo a los bosques sino también a otros usos del suelo en el paisaje.

### **Alianza de Acciones sobre el Manejo del Fuego**

El fuego juega un papel crítico en la naturaleza y en el manejo de la tierra:

- en el mantenimiento de ecosistemas dependientes del fuego,
- en proporcionar una herramienta importante y rentable para el uso de la tierra y
- en causar deforestación, degradación de bosques, emisión de gases de efecto invernadero y destrucción de medios de subsistencia, biodiversidad e infraestructura.

El fin de la Alianza de Acciones sobre el Manejo del Fuego es estimular un mejor manejo del fuego y reducir los daños causados por el fuego en todo el mundo. La Alianza fue establecida el 16 de mayo de 2007 en la IV Conferencia Internacional de Incendios Forestales en Sevilla, España por 40 miembros fundadores.

Los objetivos son:

- revisar y actualizar las Directrices Voluntarias de Manejo del Fuego;
- alentar a las partes interesadas en todos los niveles a adoptar y utilizar las Directrices;
- revisar las experiencias de la aplicación de las Directrices;
- desarrollar / proporcionar ejemplos mundiales de documentos que respaldan las Directrices;
- fortalecer la cooperación internacional en el manejo del fuego.

## **Evaluación Global del Manejo del Fuego 2006**

Aunque a nivel mundial los impactos de los incendios de la vegetación son cada vez más reconocidos, hay una falta de información sobre sus tendencias y causas subyacentes, especialmente a nivel nacional. Obtener información sobre la ocurrencia, el alcance y los daños generados por los incendios forestales es uno de los desafíos clave a abordar, como base para diseñar estrategias nacionales efectivas del manejo del fuego, especialmente en el campo de la prevención. También se necesitan más datos para comprender mejor la relación entre los incendios de la vegetación y el cambio climático.

La FAO preparó el Estudio de Evaluación Global del Manejo del Fuego (2006) y desde entonces los datos mundiales sobre los incendios formaron parte integral de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (2010, 2015). La recopilación de datos e información sobre incendios también se está considerando para ERFM 2020. Se están tomando medidas adicionales para desarrollar una nueva evaluación global para obtener datos más precisos sobre áreas quemadas a nivel global y caracterizar los regímenes de incendios a nivel nacional.

## **Incendios Forestales y la Ley**

Adicionalmente a estas herramientas y basado en las Directrices Voluntarias, la FAO ha elaborado Directrices Legales para el manejo del fuego y ha reimpresso un Manual de Formación para el Manejo del Fuego para complementar las publicaciones de la

estrategia del manejo del fuego, desarrolladas originalmente por el Ministerio de Relaciones Exteriores de Finlandia.

## Producto de la Historia del Fuego

Los incendios forestales no están siendo efectivamente manejados y están comprometiendo ecosistemas, vidas humanas, bienes e infraestructura, medios de subsistencia y seguridad alimentaria. Los incendios continúan afectando paisajes y habitantes locales y crean grandes volúmenes de gases de efecto invernadero. En muchos lugares, los incendios forestales tendrán consecuencias para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Los incendios forestales están aumentando y alteran el equilibrio entre los incendios naturales que estimulan y sostienen los procesos ecológicos, el uso tradicional del fuego y el uso del fuego en la comunidad. Si bien lo que constituye una buena práctica en el manejo integrado del fuego está bien establecido, muchos países no cuentan con sistemas para apoyar la aplicación de estas prácticas a nivel de políticas y de campo.

Datos sobre la incidencia de incendios, el área de tierra y la biomasa quemada son débiles en muchos países e incompletos a nivel mundial. Hacer disponible el área quemada por el fuego en el tiempo con referencias cruzadas a los tipos de vegetación sería la base para el entendimiento y la planificación para Manejo Integral del Fuego, un paso central y clave en la Reducción del Riesgo de Desastre.

El fortalecimiento de las capacidades y actividades nacionales en la recopilación y el flujo de datos hacia y dentro del país; la planificación del manejo del fuego, incluyendo el mejor análisis de los datos y la participación de los interesados y la implementación de planes de manejo del fuego, permitirá que la planificación basada en la evidencia reduzca el número la extensión y los impactos de los incendios forestales. Los incendios forestales impactan con mayor magnitud y frecuencia sobre todo en la población local, los bienes de la comunidad y el paisaje en el que viven y trabajan. Reducir los daños y la pérdida causada por los incendios forestales beneficiará directamente a los valores de las comunidades y del paisaje.

Se ha documentado una buena práctica en la Manejo Integrado del Fuego, pero se carecen datos críticos para la planificación del manejo del fuego, la incidencia de incendios, la superficie de la tierra y la biomasa quemada. Muchos países no disponen de sistemas para recopilar datos básicos que apoyen la aplicación de buenas prácticas del manejo del fuego a nivel de políticas y de campo. Hacer disponible el área quemada por el fuego en el tiempo con referencias cruzadas a los tipos de vegetación sería la base de la comprensión y la planificación para un manejo eficaz del fuego. Este análisis puede ayudar a concentrar esfuerzos y recursos en las áreas críticas donde la intervención y la inversión son necesarias y aumentar la conciencia sobre la importancia del manejo de incendios forestales para el logro de objetivos

mundiales tales como los Objetivos de Desarrollo Sustentable y el Acuerdo de París de la UNFCCC.

La FAO ha preparado un concepto y convocará una serie de reuniones con expertos internacionales y organismos pertinentes, usuarios experimentados y administradores de incendios; caracterizar las necesidades de los países y preparar un "estado de conocimiento" sobre los datos de incendios de detección remota e identificar el futuro potencial de las fuentes de datos de incendios y su uso.

El objetivo es proporcionar acceso a los datos de incendios para que los países realicen análisis pertinentes. El concepto es permitir:

- selección de un área (tal como la frontera o provincia de un país o la especificación de un área)
- ajuste del período de tiempo, rango de tamaño y otros aspectos 'ajustables'
- selección de las características a mostrar - datos de fuego activo, área quemada, potencia radiativa de fuego
- interacción potencial con otros conjuntos de datos tales como
  - cobertura de la tierra
  - uso de la tierra
  - tipo de vegetación
  - infraestructura
  - Terreno
  - estadísticas nacionales sobre población, ingresos y pobreza, salud
- estadísticas resumidas y análisis sobre el número de incendios y áreas quemadas:
  - por período de tiempo (día, semana, mes, estación, año)
  - por tenencia
  - por uso del suelo
  - por tamaño del fuego
  - en la proximidad de medios de acceso, infraestructura, áreas protegidas, usos del suelo, etc.
  - áreas quemadas varias veces

### ***Incendios y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero***

Actualmente, el cambio climático es generalmente reconocido como el mayor reto medioambiental del siglo XXI, exacerbando grandes amenazas mundiales tal como el hambre, la pobreza, el desplazamiento de la población, la contaminación atmosférica, la degradación de los suelos, la desertificación y la deforestación. Los bosques juegan un papel clave en el ciclo global del carbono y, por lo tanto, en el cambio climático. Se almacenan y, al crecer, absorben enormes cantidades de carbono. Sin embargo, cuando son despejados, quemados o degradados, liberan carbono en forma de dióxido

de carbono y otros gases de efecto invernadero. A nivel mundial, los bosques contribuyen actualmente con un 10-11 por ciento de las emisiones totales de gases de efecto invernadero.

El cambio climático también aumenta el riesgo de incendios forestales. El comportamiento del fuego se determina en gran medida, en orden de importancia, por el viento, la humedad (resequedad del aire) y un tercero largo, la temperatura (una medida indirecta de la resequedad del aire). Por lo tanto, las temperaturas más cálidas y las condiciones más secas asociadas a menudo pueden aumentar la probabilidad de que un incendio forestal comience o se propague. Estas condiciones también favorecen la propagación de plagas y enfermedades que pueden debilitar o matar a los árboles. Los troncos y las ramas comprometidos pueden acumularse para convertirse en un almacén de "combustible" forestal fácilmente inflamable.

En general, los incendios forestales mundiales consumen aproximadamente 5 130 millones de toneladas de biomasa por año, 42% de las cuales se queman en África, incluidos los incendios asociados con la deforestación. Esta quema libera aproximadamente 3 431 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, así como cantidades significativas de otros gases de efecto invernadero.

En Tanzania, la FAO elaboró un estudio sobre contabilidad de carbono e incendios de vegetación. El cálculo ha proporcionado estimaciones para un solo año de emisiones, de emisiones de CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y NO<sub>x</sub>. Los resultados son directamente proporcionales al área quemada con un área quemada más grande llevando a una estimación más grande de emisiones. Las cifras globales de emisiones de CO<sub>2</sub> por año en promedio durante 11 años de área quemada para dos distritos fueron aproximadamente 27 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Se ha identificado que la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> anualmente de los incendios de la vegetación en África es muy grande y que para los incendios de la sabana se estima que representa aproximadamente el 22% de la biomasa quemada globalmente. Un cambio relativamente pequeño en el régimen de incendios podría tener consecuencias significativas para el presupuesto mundial neto de carbono y para los informes de Tanzania en virtud de sus obligaciones internacionales.

Indonesia también se ha visto gravemente afectada por los incendios. Entre junio y octubre de 2015, se quemaron 2.6 millones de hectáreas de tierra boscosa. Este es un escenario que se ha repetido varias veces en cada década desde 1983. Los impactos en la población de Indonesia y en algunos países vecinos incluyen el deterioro de la salud, las perturbaciones del transporte y la economía de Indonesia en particular. El costo para Indonesia se estima en más de \$ 16.1 mil millones de dólares americanos. Las emisiones de gases de efecto invernadero se calculan en aproximadamente 1 750 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2</sub>e), casi lo mismo que las emisiones anuales estimadas de

Indonesia de 1 800 MtCO<sub>2</sub>e por año. Los incendios como los de 2015 harán que la tarea de Indonesia de alcanzar su meta de reducción de GEI de 29 por ciento sea extremadamente difícil de lograr.

## **Daños y pérdidas**

La FAO tiene un Programa Estratégico centrado en hacer que la prevención (reducción del riesgo) sea una conducta económicamente más sensata que la lucha contra incendios (respuesta). Un fuerte ajuste de los impactos sobre los servicios de los ecosistemas de los incendios forestales proporcionará apoyo adicional a esa tesis.

El nexo entre "daño y pérdida" experimentado en términos humanos y los "daños y pérdidas" del ecosistema y las cuestiones de fijación de precios de estos valores y las implicaciones de aceptar los valores y factorizarlos en la planificación nacional y las interacciones y arreglos internacionales pueden potencialmente conducir a un comportamiento racional en la planificación de los incendios forestales. Esto haría hincapié en la investigación y el análisis de las causas, fuentes y motivaciones de los incendios forestales, la reducción del riesgo y la prevención de incendios forestales, la preparación (alerta temprana para la acción temprana). También incluiría un énfasis en el compromiso sistemático de la comunidad, las alternativas al uso del fuego, el uso deliberado intencionado y programado del fuego para la salud del ecosistema y la inversión apropiada para iniciar y mantener tales programas, incluyendo la mejora continua.

## **Manejo Integrada del Fuego e implementación exitosa del SDG y el Acuerdo de París**

En muchos casos, los incendios forestales influirán en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sustentable (en inglés SDG) y en algunos casos pueden amenazar su éxito. En relación con el rol y los impactos de los incendios forestales y el manejo del fuego en los SDG, los que tienen un interés particular son los Objetivos 1, 2, 3, 7, 13 y 15. El IFM reduce el riesgo de impactos sobre los elementos fundamentales que sustentan los SDG, el uso razonable del fuego donde sea apropiado y busca mitigar algunos impactos.

Específicamente: Los incendios dañan regularmente los cultivos, los recursos y crean costos para la recuperación que empobrecen o propician la inseguridad de los alimentos de las personas. La integración del manejo del fuego, inclusive la prevención y el uso racional, en la agricultura, el pastoreo y la silvicultura reduce el riesgo de estos daños y pérdidas que mantienen a la gente en la pobreza y en un ciclo de inseguridad alimentaria.

- Objetivo 1: Acabar con la pobreza en todas sus formas y en todas partes

- Objetivo 2: Acabar con el hambre, lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición y promover una agricultura sustentable

El acceso a suministros de combustible confiables es un aspecto crítico para mantener la salud y el bienestar. La mayoría de la población pobre del mundo utiliza la madera como combustible, y las pérdidas de árboles y de madera en los incendios comprometen la calidad y el suministro de madera. Esto conduce al uso de combustibles menos adecuados que pueden requerir más esfuerzo para recolectar y pueden generar impactos sobre la salud; indirectamente a través del humo y las partículas cuando el combustible de mala calidad se quema menos eficientemente, e indirectamente a través del esfuerzo adicional - ¿gastando más tiempo y energía para recoger el combustible? - extendiéndose más ampliamente o recogiendo más cantidades de combustibles menos óptimos.

- Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades
- Objetivo 7: Garantizar el acceso a energía accesible, confiable, sustentable y moderna para todos

Globalmente, los incendios liberan aproximadamente 3 431 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, así como cantidades significativas de otras emisiones. La escala y el alcance de los incendios forestales han ido aumentando. La aplicación del IFM, a partir de la compilación de una base de datos e información que genere comprensión, puede reducir los incendios no deseados y sus emisiones, contribuyendo a las contribuciones determinadas a nivel nacional que los países hicieron en París en 2015.

- Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos

Los incendios forestales son un factor importante en la degradación de los bosques, la destrucción y el cambio en el uso de la tierra. La integridad del paisaje y la biodiversidad, así como los valores de los recursos de captación, los medios de subsistencia y los protectores pueden verse comprometidos por los incendios forestales, a veces durante largos períodos, quizás durante varias décadas. El IFM reduce el riesgo de estos impactos, daños y pérdidas.

- Objetivo 15: Proteger, restaurar y promover el uso sustentable de los ecosistemas terrestres, manejar de manera sustentable los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad

## **Reflexión sobre el pasado**

El manejo integral del fuego, basado en datos, rico en información, científicamente sólida y anclado localmente en las comunidades, contribuirá al éxito de los SDG y a

la aplicación del Acuerdo de París. Utilizando políticas y programas de IFM bien concebidos, los países pueden planificar coherentemente a escala del paisaje para asegurar la sustentabilidad de los recursos naturales, los medios de subsistencia y los valores culturales de manera que aborden la pobreza, la salud, la equidad, la sustentabilidad y el bienestar. Una acción apropiada y urgente sobre el manejo sustentable del fuego ofrece otra vía para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, adaptarse al cambio climático y fortalecer la capacidad de recuperación del planeta.

## **Acuerdos bilaterales**

Existen muchos acuerdos bilaterales entre los países para cooperar en el caso de la supresión de incendios. Dependen del compromiso de los países soberanos, cada uno con sus propios requisitos, oportunidades y desafíos. Establecen marcos para temas como:

- En el caso de incendios grandes y duraderos, el intercambio de equipos de bomberos que se lleva a cabo a veces entre Canadá, Estados Unidos, Nueva Zelanda y Australia tomó casi una década en ponerse en marcha. En su mayoría, los gerentes de bomberos de nivel medio se intercambian, ya que son el recurso más útil y los que se agotan más rápidamente, por lo tanto, tienen que ser relevados fuera del incendio para un descanso. Recientemente las tripulaciones sudafricanas ayudaron a combatir incendios en los Estados Unidos y también ha habido intercambio de bomberos desde Chile a Sudáfrica.
- Los acuerdos bilaterales también pueden ayudar a definir las actividades transfronterizas para los países vecinos, como en el caso de España y Portugal y Francia e Italia.
- Los acuerdos bilaterales también podrían coordinar el uso de equipo pesado, como aviones, entre países vecinos.
- Basado en acuerdos existentes, la FAO ayudó a elaborar un formato para los acuerdos bilaterales.
- No hay muchos ejemplos de coordinación de intercambio por encima del nivel bilateral. Un ejemplo es el MICC, un mecanismo de coordinación europeo que trata de coordinar la oferta de aviones contra incendios en Europa en caso de que uno de los países miembros se enfrente a incendios por encima del nivel que puedan manejar.

Basado en muchos acuerdos bilaterales relativos al manejo de fuego, la FAO elaboró un formato para los acuerdos bilaterales.

## **Redes / grupos de trabajo**

Se han iniciado muchas redes regionales para fortalecer las capacidades en el manejo del fuego y, en su mayoría, todas promueven el manejo integral del fuego, pero no todas son eficaces y sustentables.

Algunos son grupos de trabajo con fuertes entornos institucionales y apoyo político nacional, como el Grupo de Trabajo sobre Manejo del Fuego de la Comisión Forestal de América del Norte y el grupo de trabajo de Asia y el Pacífico sobre manejo del fuego. Los Grupos de Trabajo son un foro de intercambio de experiencias y tecnología para la protección y control de los incendios forestales; para la cooperación entre los países miembros para desarrollar estrategias y acciones para resolver problemas técnicos y de manejo; y participar activamente con organismos internacionales para llevar a cabo y promover actividades que fomenten la cooperación y el desarrollo mundial.

Muchas otras redes regionales se han creado bajo el amparo del Centro Mundial de Vigilancia de Incendios y sirven principalmente para el desarrollo de capacidad y el intercambio de experiencias. Sin un fuerte apoyo gubernamental, dependen en gran medida del apoyo al proyecto cuando los proyectos están disponibles. Sin embargo, la falta de una base institucional clara complica la obtención de proyectos, por lo que a menudo dependen de proyectos nacionales más grandes. Especialmente la red regional de manejo del fuego de África no es muy visible y carece de actividades.

Entre estos dos grupos se puede colocar el grupo de trabajo Silva Mediterránea sobre manejo de incendios y la Red de Manejo de Incendios para Mesoamérica de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo; tienen una institucionalidad fuerte, pero también dependen de los proyectos para su funcionamiento, ya que carecen de un fuerte apoyo político. Debido a su fuerte configuración institucional, han tenido éxito en obtener apoyo de proyectos de vez en cuando.

Además de estas redes regionales de manejo de incendios o grupos de trabajo, existen otras temáticas como:

- Varias redes regionales de la Red GOFC / Gold, dedicadas principalmente a la investigación
- El Grupo de Expertos de la Comisión Europea en Incendios Forestales incluye a los corresponsales nacionales del Sistema Europeo de Información sobre Incendios Forestales (en inglés EFFIS).
- El Grupo de Trabajo Internacional de Aviación contra Incendios (en inglés IFAWG) está integrado por representantes de países y jurisdicciones que utilizan regularmente medios aéreos para gestionar incendios en el paisaje, incluso para combatir incendios

## **Cooperación internacional**

Si bien a lo largo de los años se han llevado a cabo muchos proyectos en los países en desarrollo por organismos nacionales o multilaterales de desarrollo para fortalecer las capacidades nacionales en el manejo integral del fuego, es muy difícil medir el impacto y la captación. Se podría concluir que el éxito de los esfuerzos internacionales en el manejo integral del fuego, o cualquier intercambio en incendios, ha sido limitado. Los esfuerzos incluyen a menudo el desarrollo o la revisión de las políticas nacionales y los marcos legales, la sensibilización del piloto, las actividades de quema prescritas y la capacitación de equipo de pilotos bombero locales (comunitarios). Lo que queda detrás a menudo son una serie de informes de taller, procedimientos, directrices, manuales y otra documentación (ahora con frecuencia sitios web).

Sin embargo, la experiencia de las actividades bilaterales y multilaterales en muchos casos también ha llevado al desarrollo de directrices que pueden ser utilizadas por otros países o la cooperación para fortalecer sus capacidades. (Directrices Voluntarias de Manejo del Fuego, Revisión del Marco Legal, Mejores casos en Manejo del Fuego Basados en la Comunidad, etc.)

Se debe prestar más atención a estas actividades que no son visibles como actividades de manejo del fuego; la tierra y las actividades de manejo del paisaje que reducen la incidencia y los impactos del fuego, así como el apoyo a los marcos normativos y políticos.

## **Conclusiones**

Reflexionar sobre las experiencias de los últimos esfuerzos en el intercambio de manejo del fuego permite algunas reflexiones sobre el potencial de las relaciones internacionales para reducir los impactos de incendios forestales. Los esfuerzos han tenido un éxito mixto y pocos de ellos han podido persistir. Esos ejemplos de grupos que han continuado con el tiempo merecen un cuidadoso estudio y análisis para comprender mejor los factores que han permitido su resistencia. Los candidatos para el análisis incluyen el Grupo de Trabajo 1 de Silva Mediterránea, algunas de las redes regionales creadas bajo el amparo del Centro Mundial de Vigilancia de Incendios y el Grupo de Expertos sobre Incendios Forestales de la Comisión Europea.

La sustentabilidad requiere la disponibilidad de fondos y la disponibilidad de organismos estables e interesados, apoyados por gobiernos y personas interesadas y comprometidas para participar. Esto no siempre es viable. Los funcionarios gubernamentales tienen puestos de trabajo de tiempo completo y son responsables de

realizar las tareas asignadas para cumplir con el mandato institucional. En muchos países los gobiernos todavía están en el proceso de desarrollar y formular gobiernos eficaces y agencias funcionales, lo que significa que generalmente hay limitaciones en los recursos y restricciones en la capacidad.

Sin duda, las relaciones internacionales pueden contribuir a reducir los impactos de los incendios forestales. El método más eficaz de esto es probablemente a través de la interacción y el intercambio, la solución conjunta de problemas y el intercambio de experiencia en el manejo del fuego y la investigación en lugar de la combinación de los recursos de lucha contra incendios. Respecto a esto, deberían fomentarse y apoyarse las redes y los grupos de trabajo existentes. La FAO a través de sus comisiones forestales regionales y más de 130 oficinas en los países puede contribuir a la conectividad y crear oportunidades para una colaboración continua.

## Referencias

- FAO (2011):** Community-Based Fire Management. FAO Forestry Paper 166. FAO, Rome
- FAO (2011):** FAO at the V<sup>th</sup> International Wildland Fire Conference. Fire Management Working Paper Number 27. FAO, Rome.
- FAO. 2006.** Fire management: voluntary guidelines. Principles and strategic actions. Fire Management Working Paper 17. Rome.
- FAO. (2004).** Legal Frameworks for Forest Fire Management: International Agreements and National Legislation. Follow-up Report to FAO/ITTO International Expert Meeting on Forest Fire Management, March 2001. Forest Protection Working Papers, Working Paper FFM/3/E. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO Legal document Agreements
- Lierop, P. van (2011):** Four Years since Seville! Paper presented at the International Wildland Fire Conference. Sun City, South Africa, 2011.
- Morgera E. and Cireli, M.T. (2009):** Forest fires and the law. A guide for national drafters based on the Fire Management Voluntary Guidelines. FAO Legislative Study 99. FAO, Rome.

# La Evolución de la Valoración de los Daños no Mercantiles de los Incendios Forestales: Un Análisis Intertemporal<sup>1</sup>

**Jeffrey Englin<sup>2</sup>**

## Resumen

El legado de los incendios forestales forma una relación dinámica inherente entre los usos humanos del bosque y la ecología. Este trabajo provee una visión general de la dimensión dinámica presente después de un incendio. Estas incluyen el papel de la función de descuento y la evolución de los valores sociales mientras se recupera la ecología.

Palabras claves: Descuento, incendios forestales, valoración contingente

## Introducción

El efecto ecológico de los incendios forestales varía mucho. El fuego es un elemento crítico en el ciclo reproductivo del bosque en aquellos bosques adaptados al fuego. Podemos pensar en los bosques de Pino Jack en la parte central de los Estados Unidos de Norte América. La interrupción del ciclo de incendios ahí resultó en una interrupción generacional en el ciclo de vida del bosque. Podemos también pensar en los bosques de Pino Ponderosa de la Sierra Nevada donde la supresión del ciclo del fuego resultó en la transición del Pino Ponderosa hacia el Pino Blanco, una especie intolerante al fuego. Sin embargo, en otras condiciones donde el ciclo del fuego ha sido interrumpido y la carga de combustibles es muy alta, los incendios forestales son bien destructivos. El efecto de los incendios es el daño grave a la ecología y a retardar, y a veces, hacer imposible la recuperación.

Los costos y los beneficios sociales de la recuperación son dinámicos. Según el bosque se recupera y se ajusta al fuego los costos y beneficios varían en el tiempo. El sendero de la recuperación provee a la sociedad un sendero de los costos y beneficios. Los primeros en sugerir una forma a la recuperación de los beneficios después de un incendio fueron Englin et al. (1996). Ellos sugirieron una pérdida súbita en los beneficios recreativos seguida de una recuperación lenta en el tiempo

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios: Servicios Ambientales e Incendios Forestales; 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Professor, Morrison School of Agribusiness, Julie Ann Wrigley School of Sustainability, Arizona State University, San Tan Hall 235C, Mesa, AZ; email: [jenglin@asu.edu](mailto:jenglin@asu.edu)

según el bosque se recupera, llegando al máximo de beneficios cuando el bosque ha alcanzado su clímax o estado de bosque viejo. Como expuesto más adelante, la visión original de Englin et al. (1996) era ingenua y trabajos recientes han demostrado el sendero actual que toma la recuperación de los beneficios recreativos.

Finalmente, debemos considerar con mucho cuidado el papel de la tasa de descuento. Existe una creciente literatura (Arrow et al. 2013) sobre las tasas de descuento apropiadas para proyectos de larga duración. Un ejemplo de estos recursos es la recuperación de los bosques después de un incendio forestal. Este trabajo sugiere que la evolución social de los valores del bosque puede tener impactos importantes en el análisis del costo beneficio de los bosques. Además, si la sugerencia de Krutilla (1967) tiene méritos, tiene también implicaciones para la política forestal.

El resto del trabajo continúa de la siguiente manera. Usando un análisis estático del problema forestal y un estudio de caso del Parque Nacional Jasper en Alberta, Canadá se discutirán los problemas involucrados. Se incluirán también algunas observaciones sobre las posibles implicaciones para la América Central. Se presentarán entonces algunos hallazgos sobre cómo evolucionan en el tiempo los valores recreativos del bosque. Las sugerencias de Krutilla (1967) son apropiadas en este marco de referencia. Al final el trabajo provee unas sugerencias sobre como proseguir.

## **El problema con un análisis estático**

El análisis estático no toma en cuenta la evolución dinámica del mundo. Tampoco toma en cuenta los cambios sociales o ecológicos. Es bien conocido que la interferencia en los ciclos naturales del fuego es problemática, pero aun los ciclos naturales del fuego son dinámicos. Esta sección se enfoca en la recuperación de los valores sociales después de un incendio. Englin et al. (2006), estudió la tasa de recuperación ecológica después de un incendio.

El Programa de inventario de los Parque Nacionales de Canadá, con su masiva base de datos cuidadosamente recopilada, documentando perturbaciones ecológicas por los últimos 700 años, se usó en el estudio. El Parque Nacional de Jasper es bien grande cubriendo una extensión de 10,878 km<sup>2</sup>. Tiene más de 1,000 km de veredas desarrolladas. Tiene también un sistema de mandatorio de permisos que es una fuente importante de información sobre comportamiento social, La mayoría de las veredas comienzan en las cuencas de los ríos y proceden a lo largo de los ríos o hacia las montañas. Algunas alcanzan hasta 2,200 metros; resultando en que la base de datos contenga información sobre múltiples ecosistemas. El apéndice A contiene un mapa de las veredas.

En su estudio del Inventario de Parques Nacional de Canadá, Englin et al (2006) encontró tres tipos principales de vegetación en el Parque nacional de Jasper. Estos son pinos Lodgepole, abetos-enebro y praderas alpinas. Además, el detalle de la información ecológica permite identificar la edad de cada uno de los rodales. Para el pino Lodgepole la cobertura fue separada en tres categorías de edad: entre 30 y 124 años, entre 125 y 299 años, entre 300 y 500 años; para los abetos-enebros las categorías de edad son: entre 30 y 124 años, entre 125 y 299 años, y entre 300 y 500 años. La vegetación de las praderas alpinas y las tundras fue medida en km<sup>2</sup>.

Para medir los efectos del bienestar del envejecimiento de los bosques se usó la fórmula de Small and Rosen (1981):

$$\text{Variación de compensación} = 1 / \beta \ln(\sum \exp(v^0) - \sum \exp(v^1))$$

Por lo tanto, es importante notar que el valor de los bosques viejos variará considerablemente dependiendo del valor de otros atributos en la vereda (ver Lancsar and Savage 2004). Los resultados reportados en Englin et al. (2006) tienen varios atributos importantes. Uno es que los bosques de pino Lodgepole jóvenes o de mediana edad (hasta 299 años) tienen un valor positivo pequeño. Rondan entre \$0.50 y \$4.00. Sin embargo, los bosques de pino Lodgepole más viejos y valiosos contribuyen \$500 por viaje para los rodales entre 300 y 500 años. Esto es substancial.

Los hallazgos fueron similares para los abetos-enebros, aunque para los abetos-enebros jóvenes el valor fue negativo. Esto se debe principalmente a que los rodales jóvenes de abetos-enebros son bien densos, oscuros y tienen moscas y mosquitos. Los bosques viejos de abetos-enebros (rodales de entre 300-500 años) tienen un valor de \$150 por viaje.

Resumiendo los hallazgos econométricos vemos un aumento en los valores ambientales por 30 años después del incendio inicial. Este aumento se puede deber a un valor de novedad del incendio y la vegetación y flores que crecen inmediatamente después del incendio. Además, el incendio abre nuevas vistas no existentes previamente. Después de este aumento, el valor ambiental disminuye rápidamente y se vuelve negativo comenzando a subir paulatinamente hasta llegar a cero para el año 125. ¡El aumento en el valor continúa por los siguientes 400 años! Todo esto es consistente con los cambios ecológicos sucediendo durante todos esos periodos. Los bosques viejos son lugares desordenados. En ellos se encuentran árboles caídos podridos que en cambio sostienen animales, pájaros e insectos compatibles con un bosque viejo. El proceso de convertirse en un bosque viejo toma mucho tiempo. Lo verdaderamente notable es que podemos ver en el comportamiento actual de las personas que ellos saben la diferencia y la valoran.

El hallazgo clave es que los valores ambientales del bosque se recuperan lentamente. La pérdida de los bosques viejos son eventos multi-generacionales. La recuperación de un bosque a su estado de bosque verdaderamente viejo toma mucho tiempo. Los árboles tienen que caerse, morirse y podrirse antes que el ecosistema histórico existente pueda regresar. Tienen que pasar siglos. Reconocer la naturaleza dinámica de estos procesos es muy importante. Aunque no sea importante entender las preferencias de generaciones cientos de años en el futuro, el uso de las tasas de descuento sugiere que algunos de los bosques viejos deben reconocerse como un recurso no-renovable. No podemos compensar la pérdida de bosques viejos con la siembra comercial de árboles.

## Política de Largo Plazo

En un estudio reciente, Arrow et al. (2013) levanto el espectro de la incertidumbre sobre las tasas de interés y su implicación para el cambio climático. Es interesante ver que la mayoría de los grandes impactos recaen en el marco de tiempo del manejo forestal. El enfoque de su línea de investigación es sobre saber cuál es el significado de que la tasa de descuento real tiene un componente aleatorio.

Ellos sugieren el siguiente experimento mental. Consideremos el caso donde la tasa de descuento promedio es de 4%; tasa típica aplicada en el análisis de costo beneficio. Supongamos ahora que la tasa real de descuento puede ser igualmente el 1% o el 7%.

En la Tabla 1 se presenta el valor descontado de \$1,000 comenzando en el año cero hacia adelante. El encabezado de la tabla lista los nombres de las columnas. El caso de la tasa de descuento típica aparece bajo la etiqueta 4%. Los casos del 1% y el 7% aparecen bajo etiquetas del 1% y 7% respectivamente. El comportamiento de este flujo es el esperado. A una tasa de descuento del 7%, el valor presente de \$100 en el año 100 es de solo \$0.91. Veamos ahora las columnas que pueden ser indistintamente una o la otra; esto es el promedio de las columnas del 1% y el 7%. Los valores de las columnas del 4% y la de certeza equivalente al principio son muy similares, pero a medida que aumenta el tiempo sus valores difieren significativamente. La columna final presenta la tasa de descuento de certeza equivalente. Fíjense que se hace más pequeña a medida que pasa el tiempo. ¡Para el año 50 es de solo 1.28%!

**Tabla 1.** Un Ejemplo de la Tasa de Descuento Real y la Tasa de Certeza Equivalente.

| Año | 1%       | 4%       | 7%       | Igualmente | Certeza     |
|-----|----------|----------|----------|------------|-------------|
|     |          |          |          | Posible    | Equivalente |
|     |          |          |          | 1%         |             |
|     |          |          |          | 7%         | (%)         |
| 1   | \$990.05 | \$960.79 | \$932.39 | \$961.22   | 3.94%       |
| 10  | \$904.84 | \$670.32 | \$496.59 | \$700.71   | 3.13%       |
| 50  | \$606.53 | \$135.34 | \$30.20  | \$318.36   | 1.28%       |
| 100 | \$367.88 | \$18.32  | \$0.91   | \$184.40   | 1.02%       |

Este hallazgo sugiere que cada año adicional en el futuro debe tener su propia tasa, descendiente, de descuento. Proyectos que produzcan beneficios a largo plazo en el futuro deben ser descontados a una tasa de descuento menor para reflejar la incertidumbre inherente relacionada con la tasa de descuento.

Esto tiene efectos dramáticos en las políticas forestales óptimas. Daños futuros antes considerados irrelevantes ahora son relevantes. Cuando los daños a 30 años en el futuro son valorados solo a una tasa de descuento de certeza equivalente su valor es de \$318.36 en vez de \$135.34. El peso de los daños futuros será mayor en cualquier análisis.

También podemos especular sobre los efectos de valores sociales crecientes. Supongamos que la especulación de Krutilla (1979) de que el valor del medioambiente natural continuará en aumento a través del tiempo. Se puede ver entonces que el aumento en los valores puede actuar como reducción adicional en la tasa de descuento. Si hay un aumento estable en el ecoturismo en regiones estables de América Central implica que habría una mayor conservación del medioambiente natural usando las reglas de tasa de descuento de certeza equivalente. One can also speculate about the effects of rising social values.

Como se discute a continuación la sociedad es cambiante y las reglas de tasas de descuento de certeza tendrán mayor preponderancia en el futuro. Dada la irreversibilidad relativa de muchos de los cambios forestales las tasas de descuento de certeza tendrán mayor relevancia.

## Los Incendios forestales en un Mundo Cambiante

Tenemos también que considerar la evolución de la sociedad. One also has to consider the evolution of society. Los valores sociales no están estancados. El cambio en los valores sociales está afectado por agentes de cambio como los cambios en cohortes generacionales, ingreso de las personas, la riqueza nacional y otras

preocupaciones. Estos cambios son muy importantes si adoptamos la tasa de descuento de certeza equivalente.

Englin y Holmes (2016) llevaron a cabo un estudio sobre la evolución a largo plazo de los valores recreativos del senderismo en áreas silvestres altas. Esta es una actividad bien estudiada y comprendida. La intención del estudio era saber si podían probar empíricamente la hipótesis de Krutilla (1967) de que el valor de las áreas silvestres en los EEUU se va a hacer más alto.

En su estudio Englin y Holmes (2016) usaron los permisos de uso para el senderismo en áreas silvestres altas. Ellos combinaron los permisos de uso del Servicio Forestal de 21 de estas áreas de senderismo en áreas silvestres altas (Alpine Lakes, Ansel Adams, Black Elk, Boundary Waters, Emigrant, Glacier View, Goat Rocks, Golden Trout, Indian Heaven, John Muir, Mokelumne, Mount Adams, Mount Hood, Mount Shasta, Salmon Huckleberry, Sawtooth, Selway Bitterroot, Tatoosh, Trapper Creek, Weminuche, William O. Douglas) con permisos e uso de senderismo en el Parque Nacional de Yosemite, en California.

Usando información de la categorización 3 de ecosistemas de la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU ellos desarrollaron la información sobre ecosistemas. Los tipos de ecosistemas representados en la base de datos son: Blue Mountains, Central Basin and Range, Eastern Cascades Slopes and Foothills, High Plains, North Cascades, Northern Lakes and Forests y Sierra Nevada. Estos ecosistemas cubren una gama amplia de los ecotipos de los EEUU.

Usando el censo de los EEUU ellos también desarrollaron características demográficas. Para crear una serie de características demográficas ellos interpolaron información de los censos del 1980, 1990 y 2000 por códigos postales. Para los años posteriores al 2000 ellos extrapolaron información de censos anteriores. Es importante destacar que durante este periodo hubo una migración demográfica bien alta. Por último, los costos de viaje fueron asignados usando las tablas del costo por milla de operar un auto en los EEUU del Servicio de Rentas Internas. Todos los valores de costos, ingresos y otras variables pecuniarias fueron expresados en valores reales actuales.

El análisis econométrico se hizo usando el modelo lineal de demanda exponencial (linear exponential demand model) (ver LaFrance 1990, von Haefen 2002). El modelo lineal de demanda exponencial usa la función de enlace exponencial para enlazar la cantidad demandada a variables explicativas exógenas. La especificación del modelo es:

$$\lambda_{ij} = e^{(P_{ij}, Z_i, \beta)} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad 1$$

donde  $\lambda_{ij}$  es el viaje de la persona  $i^{\text{th}}$  al parque  $j^{\text{th}}$ ,  $P_{ij}$  es el costo de viaje de la persona  $i^{\text{th}}$  al parque  $j^{\text{th}}$ , y  $Z$  contiene las características de las personas y los parques, y  $\beta$  es un vector de parámetros a estimarse. El modelo se estima como un modelo logarítmico lineal:

$$\ln(\lambda_{ij}) = \alpha + \beta_p P + \sum \beta_k Z_k$$

Donde  $P$  es el costo de viaje y  $Z_k$  son los atributos de los lugares y las personas.

Las estimaciones del bienestar en los modelos de contar (count models) son sencillas. Se integra la curva de demanda con respecto al precio ( $\int \lambda_{ij} dp$ ) y el resultado es  $\lambda/\beta_p$  donde  $\lambda$  es el número de viajes hechos y  $\beta_p$  es el coeficiente de del costo de viaje. Una medida comúnmente usada para medir el bienestar del consumidor es el excedente del consumidor por viaje, que es simplemente  $1/\beta_p$ . Los resultados econométricos se comportan bien y tienen los signos esperados. La pendiente de la curva de demanda es negativa y todos los parámetros son estadísticamente diferentes de cero a niveles convencionales de significancia.

Un hallazgo crítico es que la disponibilidad a pagar del consumidor aumenta en el tiempo. Este resultado apoya la hipótesis de Krutilla de que el valor de las áreas silvestres puede crecer en el tiempo. La elasticidad de la demanda disminuye en el tiempo. El aumento anual de la disponibilidad a pagar del consumidor es pequeño, solo de 0.05%. Aun así, el aumento es estadísticamente diferente de cero.

En una nota aparte interesante, Englin and Shonkwiler (1995), desarrollaron un modelo para corregir por el truncamiento y la estratificación endógena en un modelo binomial negativo de demanda de lugares recreativos. Ellos aplicaron el modelo en 1981 en una encuesta in situ de senderistas en áreas silvestres altas en las Montañas Cascade. Usando proyecciones de las características de la población en información de censos ellos usaron los parámetros estimado para proyectar al 2020 el excedente del consumidor. Esta metodología es diferente que la aplicación usando los permisos de uso de senderismo en áreas silvestres altas. Sin embargo, ellos estimaron un aumento anual en el crecimiento del excedente del consumidor de 0.05%. Es sorprendente que las dos metodologías converjan en la estimación de la disponibilidad a pagar del consumidor a pesar de las diferencias metodológicas y el periodo de tiempo de las muestras.

Este hallazgo es importante si deseamos considerar el efecto de la incertidumbre en las tasas de descuento de certeza equivalente. Si en efecto las tasas de descuento de certeza equivalente disminuyen en el tiempo y los valores recreativos están creciendo entonces las tasas de descuento deben disminuir más rápido ya que deben ser el cambio neto entre la tasa de descuento negativa efectiva y el creciente excedente de la disponibilidad a pagar del consumidor.

En simulaciones usando los resultados de este estudio sugieren que las tasas de descuento de certeza equivalente se acercan rápido a cero para el año 50. Esto sugiere que beneficios a muy largo plazo no son descontados convencionalmente hablando.

## Conclusiones y Observaciones

A pesar de la evidencia en su contra el manejo forestal estático se continúa practicando. Existen muchas fuerzas inciertas y dinámicas en contra del enfoque estático. El cambio importa; tanto los cambios sociales como los ecosistémicos. Tenemos que modelar estos cambios efectivamente.

Las perturbaciones forestales como incendios y especies invasivas impactan la salud y utilidad del bosque. Aunque la forma en que estas perturbaciones impactan el bosque tiene un componente aleatorio sus senderos son conocibles. Como conocemos la trayectoria de la recuperación podemos planificar el mejor sendero para la recuperación. Resulta posible incorporar los componentes aleatorios y las trayectorias en la toma de decisiones.

El impacto de estas opciones es extraordinario. Después de la remoción de bosques viejos puede tomar siglos la recuperación de los valores estéticos. El ejemplo del Parque Nacional Jasper es un caso aleccionador. Pero por lo menos estos bosques se pueden recuperar. En algunos casos el impacto de la cosecha, las plagas y los incendios pueden dañar los suelos precluyendo la recuperación de los bosques. La aplicación de las tasas de descuento de certeza equivalente hace estas estas pérdidas más pronunciadas.

El proceso de tasas de descuento de certeza equivalente altera las relaciones entre las opciones de políticas presentes y futuras. El uso de tasas de certeza equivalente hace el futuro más importante para en la toma de decisiones presentes. Los beneficios del futuro valen mucho más en el presente. Es probable que la evolución social juegue también un papel.

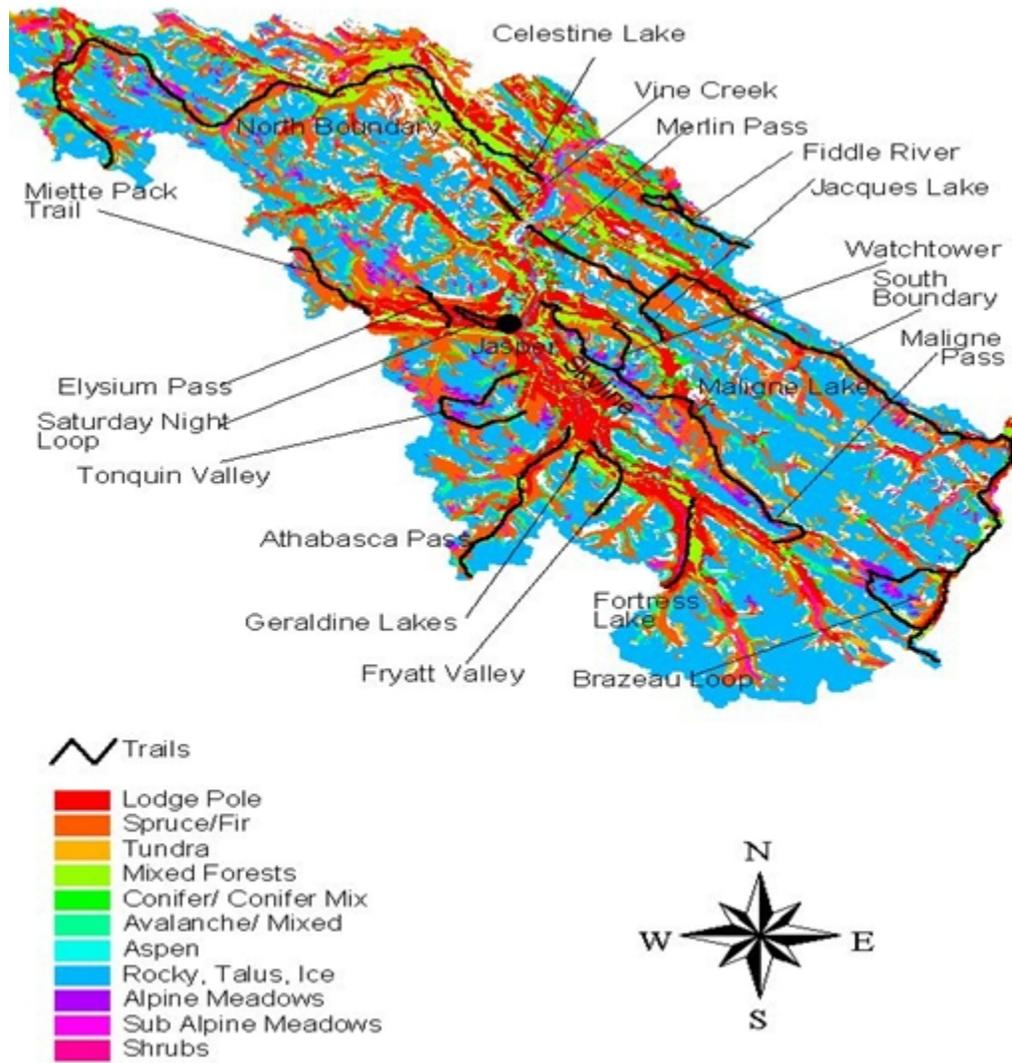
La práctica presente de los estudios de costo beneficio no incluye los resultados de investigaciones sobre la composición de sociedades futuras aunque existe una plétora de estudios sobre el tema. Sin embargo, como se colige de estos resultados, podemos ver que la incorporación de estos efectos puede cambiar la balanza de como manejamos los bosques.

Por último, la mayor parte de esto debe ser sentido común. El reto es lograr cuantificar estos efectos e incorporarlos en modelos de políticas. La cuantificación de estos efectos requiere análisis cuidadoso y muchos datos. Por suerte, el acceso a modelos y datos está mejorando aceleradamente. Debemos sentirnos optimistas sobre el futuro.

## Referencias

- Arrow, K., M. Cropper, C., Gollier, B., Groom, G., Heal, R., Newell, W., Nordhaus, R., Pindyck, W., Pizer, P., Portney, T., Sterner, R. S. J., Tolland M. W.** 2013. "Determining Benefits and Costs for Future Generations." *Science* 26 Jul 2013: Vol. 341, Issue 6144, pp. 349-350 DOI: 10.1126/science.1235665
- Boxall, P., Englin, J.** 2008. "Fire and Recreation Values in Fire-Prone Forests: Exploring an Inter-temporal Amenity Function using Pooled RP-SP Data" *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 33:19-33.
- Englin, J., Boxall, P., Chakraborty, K., Watson, D.** 1996. "Valuing the Impacts of Forest Fires on Backcountry Forest Recreation." *Forest Science*. 42:450-455.
- Englin, J., Loomis, J., González-Cabán, A.** 2001. "The Dynamic Path of Recreational Values Following a Forest Fire: A Comparative Analysis of States in the Inter-mountain West." *Canadian Journal of Forest Research*. 31:1837-1844.
- Englin, J., McDonald, J. Moeltner, K.** 2006. "Valuing Ancient Forest Ecosystems: An Analysis of Backcountry Hiking in Jasper National Park." *Ecological Economics*. 57: 665-678.
- Englin, J., Pang, A., Valdez, O.** 2015. Intergenerational Changes in Demand for Wilderness Recreation: Phase I. Report to the US Forest Service, Southern Research Station.
- Englin, J., Shonkwiler, J.S.** 1995. "Estimating Social Welfare Using Count Data Models: An Application to Long Run Recreation Demand Under Conditions of Endogenous Stratification and Truncation." *Review of Economics and Statistics*. 77:104-112.
- Krutilla, J.** 1967. "Conservation Reconsidered." *American Economic Review* 57(4):777-786.
- Lancsar, E., Savage, E.** (2004). Deriving welfare measures from discrete choice experiments: inconsistency between current methods and random utility and welfare theory. *Health Economics*. 13(9):901-7.
- Loomis, J., González-Cabán, A., Englin J.** 2001. Effects of Forest Fires on Hiking and Mountain Biking. *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 26:508-522.
- McDonald, J.** 2000. Valuing the Ancient Forests of Jasper National Park. Unpublished MS Thesis University of Nevada, Reno.
- Small, Kenneth A., Rosen, Harvey A.** 1981. "Applied Welfare Economics with Discrete Choice Models." *Econometrica*, 49(1):105- 130.

Apéndice A



A.1 Veredas del Parque Nacional Jasper tomadas de la Figura 3.2 en Mc Donald (2000).

# FireBuster: Una Herramienta Para el Manejo del Fuego<sup>1</sup>

John W. Benoit y Shyh-Chin Chen<sup>2</sup>

## Resumen

Desarrollamos un sistema experimental de alta resolución de pronóstico del clima de incendios llamado FireBuster para ayudar al manejo del fuego en California. Este sistema optimiza y automatiza muchos procesos requeridos para entregar oportunamente la inteligencia del clima de incendios. El FireBuster proporciona, de manera rutinaria dos veces por día, pronósticos del clima de 72 horas en tiempo real para California, a una resolución de cuadrículas de 5 km. Los usuarios autorizados pueden seleccionar parte del dominio y solicitar un pronóstico de 72 horas, con una resolución de 1 km, mediante sólo algunos clics. Las salidas del pronóstico incluyen los valores de la temperatura cercana a la superficie, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, precipitación y diversas variables especializadas. Cada corrida del pronóstico (resoluciones de 5 km y 1 km) toma menos de una a dos horas para procesarse en nuestro hardware computacional interno.

El FireBuster entrega información, a medida que cada incremento de 6 horas se completa, a través de un sitio web que despliega visualmente el pronóstico sobre un mapa interactivo. El usuario puede visualizar condiciones meteorológicas futuras hora tras hora a lo largo del dominio completo. Cuando están disponibles, los datos meteorológicos de la red observacional MesoWest pueden ser desplegados para evaluaciones posteriores. Funciones adicionales se están desarrollando, tal como un formato de la salida cuadrículada que puede ser descargado hacia FARSITE, un popular modelo de dispersión de incendios.

El Centro de Coordinación del Área Geográfica del Sur de California (CCAG), que maneja todos los recursos regionales de combate a incendios, es el usuario previsto de este sistema. La colaboración con los meteorólogos de incendios del CCAG nos ha provisto retroalimentación continua sobre la mejor manera de mejorar el FireBuster. La siguiente fase de desarrollo del sistema incluye la adición de índices de riesgo de incendio, perímetros de incendios observados y una capa de datos económicos, de manera que el FireBuster pueda verdaderamente ser parte de una herramienta integrada de manejo del fuego.

Además, desarrollamos un sistema paralelo relacionado, llamado FireBusterSim, para

---

<sup>1</sup> Una versión resumida de este artículo fue presentada en el Quinto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Incendios Forestales: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Especialista en Cómputo y Meteorólogo, respectivamente; USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 4955 Canyon Crest Drive, Riverside, CA 92507, USA; [jbenoit@fs.fed.us](mailto:jbenoit@fs.fed.us), [schen@fs.fed.us](mailto:schen@fs.fed.us).

examinar la simulación reducida. El FireBusterSim funciona de manera similar al FireBuster, pero produce información meteorológica a escala reducida con base en datos globales de análisis archivados. Ambas, las corridas de modelos cuadrículares de resoluciones de 5 y 1 km, están hechas sobre el área del incendio. La resolución espacial aumentada es mostrada para efectivamente proporcionar mejor precisión en los datos del modelo. Incorporar detalles topográficos más precisos en el modelo mejora la predicción en terreno complejo donde ocurren los incendios a menudo.

Palabras clave: Toma de decisiones, clima de incendios, meteorología, modelo meteorológico de alta resolución, manejo del fuego.

## **Introducción**

El clima es el factor más importante en la determinación del comportamiento del incendio, pero sigue siendo el más difícil de predecir, especialmente a alta resolución sobre terreno complejo. Para pronosticar condiciones meteorológicas futuras, un gerente de distrito contra incendios puede extrapolar las condiciones actuales, dado sólo el clima observado o la climatología. Sin embargo, este método no captura variaciones de la norma, o de eventos climáticos extremos. A menudo es necesario superar esto mediante confiar en la salida de modelos robustos del clima que aún no representan con precisión el área donde están ocurriendo los eventos de incendio. Además, tales modelos no pueden pronosticar en una escala de tiempo que capture la variabilidad diaria de los patrones climáticos locales.

Los modelos meteorológicos de alta resolución pueden proporcionar una mejor imagen de lo que está sucediendo en un terreno complejo para los gerentes de distritos contra incendios y los bomberos. Desafortunadamente, estos modelos pueden ser computacionalmente costosos y requieren de una gran cantidad de tiempo para producir una salida utilizable. Una salida compleja también puede ser difícil de interpretar y requerir de personal especializado para procesarla.

Los gerentes de distritos contra incendios pueden hacer uso de una herramienta de pronóstico del clima de incendios que sea fácil de utilizar, disponible al momento, y que pueda proporcionar información meteorológica de incendios que sea oportuna y detallada. Este artículo describe tal sistema de pronóstico del clima que hemos estado desarrollando llamado FireBuster, que puede ser utilizado operacionalmente por el personal de combate contra incendios.

## Objetivos

A pesar de que amplia investigación se condujo al desarrollo de FireBuster, su objetivo final es que se utilice en un entorno operativo. Los objetivos principales del sistema FireBuster son:

- Ser fácil de entender y utilizar por el personal de manejo del fuego, incluyendo meteorólogos de incidentes y bomberos.
- Ser accesible al personal operativo.
- Proporcionar información de clima de incendios de manera oportuna, acertada y detallada.
- Permitir la interacción de tal manera que el usuario pueda extraer información específica para un lugar o tiempo.

El Departamento Forestal y de Protección Contra Incendios de California (CAL FIRE)<sup>3</sup>, La Región 5<sup>4</sup> del Servicio forestal de los EE.UU., y otras agencias de manejo del fuego en California son los usuarios previstos.

## Metodología

El FireBuster utiliza el modelo de mesoescala espectral (MSM (por sus siglas en inglés), Juang 2000) del Centro Nacional de Predicción Ambiental (NCEP, por sus siglas en inglés). El MSM es la versión no hidrostática del Modelo Espectral Regional (MER, Juang y Kanamitsu 1994), la cual ha sido utilizada en muchos de nuestros previos trabajos de modelación regional (p.ej. Chen et al. 1999; Chen et al. 2008; Roads et al. 2010). Los pronósticos son computados para todo California a una resolución de cuadrícula de 5 km. Esto es, los valores pronosticados son producidos para cada cinco kilómetros cuadrados en California. La cuadrícula del dominio mide 243 por 243 celdas cuadradas. El MSM produce un conjunto de cuadrículas de variables meteorológicas para cada hora y hasta 72 horas hacia el futuro. Iniciamos cada pronóstico mediante descargar una parte de la salida diaria del Sistema Global de Pronóstico (GFS, por sus siglas en inglés) del NCEP, el cual tiene una resolución de 0.5° en intervalo de latitud-longitud, y reduciéndola a escala utilizando el MSM. El modelo también puede ser corrido a un tamaño de cuadrícula de 1 km, pero debido a que tomaría un tiempo inaceptablemente largo para procesar toda el área de California a esta resolución, solamente realizamos estas corridas para las áreas y los tiempos, usualmente para eventos de incendios, especificados por el usuario. El dominio para la corrida de 1 km también está reducido a cuadrículas de 96 por 96. Las corridas de pronósticos de 1 km utilizan los pronósticos de 5 km para las

---

<sup>3</sup> Véase <http://www.fire.ca.gov> .

<sup>4</sup> Véase <http://www.fs.usda.gov/r5> .

condiciones iniciales, de manera que corridas de escala más fina deben anidarse al interior de las más robustas y grandes (Figura 1).



**Figura 1:** Dominios del modelo de mesoescala utilizado por FireBuster. El dominio de 5 km cubre todo el estado de California (así como el de Nevada). Los pronósticos para el dominio de 5 km son corridos dos veces diariamente. El pronóstico del dominio de 1 km puede ser corrido cuando sea necesario para áreas específicas.

El MSM pronostica varios elementos del clima, incluyendo temperatura, humedad relativa, y dirección y velocidad del viento. También son producidas algunas variables menos comunes, tales como la energía potencial convectiva disponible (EPCD) y la altura de la capa límite planetaria (CLP), que pueden ser de interés para meteorólogos del clima de incendios.

Para determinar qué información pronosticada sería útil para los gerentes de distrito contra incendio, trabajamos con un meteorólogo del clima de incendios con el programa de Servicios Predictivos en el Centro de Coordinación de Área Geográfica (CCAG) del Sur de California. Los 11 CCAG ubicados en los EE.UU. son responsables de asignar los recursos para el combate de incendios del Servicio Forestal a incidentes de incendio. Comprender las futuras condiciones climáticas es fundamental para sus operaciones. El sistema FireBuster está diseñado teniendo en mente las necesidades de los CCAG.

Utilizamos equipo de interiores, un servidor Dell PowerEdge R820, para realizar la reducción de escala y otras tareas computacionales relacionadas (Figura 2). Los pronósticos para el dominio de 5 km se ejecutan dos veces cada día para las 12UTC y 00UTC -a mediodía y medianoche locales, respectivamente- hasta 72 horas. Los pronósticos de 5 km suelen demorar aproximadamente 2 horas en procesarse completamente. Sin embargo, los datos de pronóstico son divididos en archivos que representan incrementos de 6 horas, los cuales están disponibles para su

acceso una vez que estén completos. Cada archivo de incremento es producido cada 8 a 15 minutos durante una corrida. La corrida de pronóstico de 1 km demora aproximadamente 1 hora para procesar un pronóstico de 72 horas. Todos los datos de pronóstico son archivados con fines de análisis.



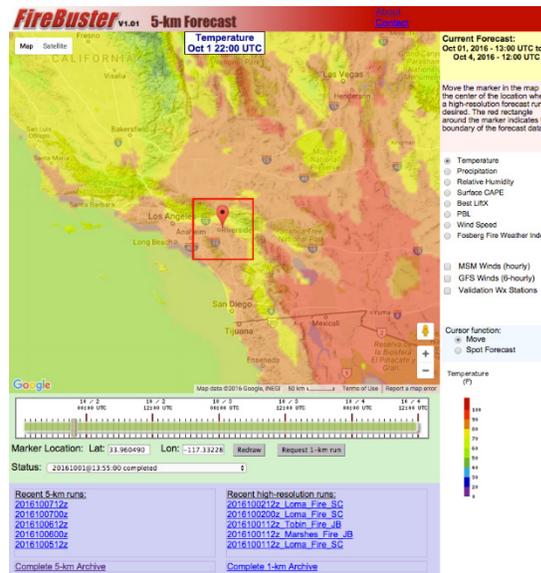
**Figura 2:** El modelo de pronóstico de FireBuster se ejecuta sobre un servidor Dell PowerEdge R820 de 40 núcleos. Los sistemas de almacenamiento masivo son utilizados para datos archivados. Otro servidor (no mostrado) convierte la salida del modelo a gráficos visualizables en la web.

La salida del modelo se guarda en formato GRIB, el cual es un formato de almacenamiento de datos utilizado frecuentemente en la comunidad de meteorología. Este formato almacena datos climatológicos en tres dimensiones espaciales así como el tiempo. Sin embargo, extraer datos de GRIB no es fácil sin software especializado. Escribimos un código para extraer datos automáticamente en archivos GRIB de cada corrida de modelo hacia capas de datos representando pronósticos individuales por hora de variables meteorológicas. Estas capas de datos son entonces convertidas en gráficos (imágenes PNG) que son visualizables utilizando un buscador web o un software visualizador de imágenes. La página web, las imágenes y los archivos relacionados son almacenados en un servidor web que es accesible en Internet. Estas imágenes representando variables meteorológicas se muestran semi-transparentemente sobre un fondo interactivo de Google Maps. El mapa puede ser ampliado y explorado de manera similar a la interfaz de Google Maps<sup>5</sup>. El usuario puede controlar cuál hora y elemento del clima pronosticados son desplegados (Figura 3).

Los usuarios autorizados pueden enviar solicitudes de corridas de pronósticos de alta resolución de 1km a través de la página web de FireBuster. Esta función tiene la intención de permitir a los gerentes de distritos contra incendios ejecutar

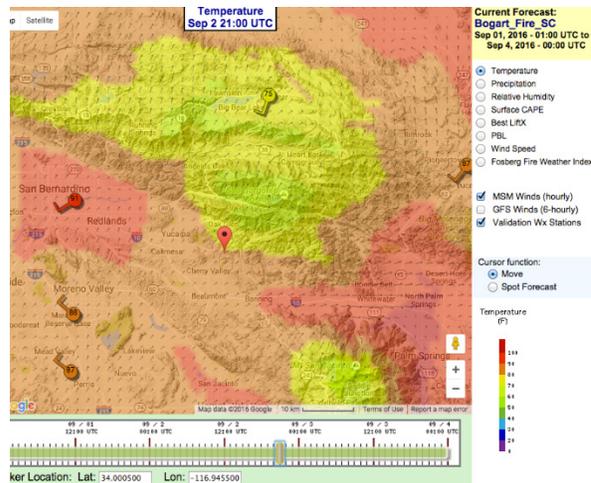
<sup>5</sup> <http://maps.google.com>

pronósticos detallados sobre áreas donde se estén produciendo eventos de incendio. La página web se actualiza continuamente mientras el modelo está produciendo las salidas del pronóstico; el usuario no tiene que esperar hasta que el pronóstico se haya concluido completamente para ver la salida. Dada una latitud y longitud, el usuario puede ver fácilmente un pronóstico meteorológico con resolución de 1 km para un área, con frecuencia de cada hora.



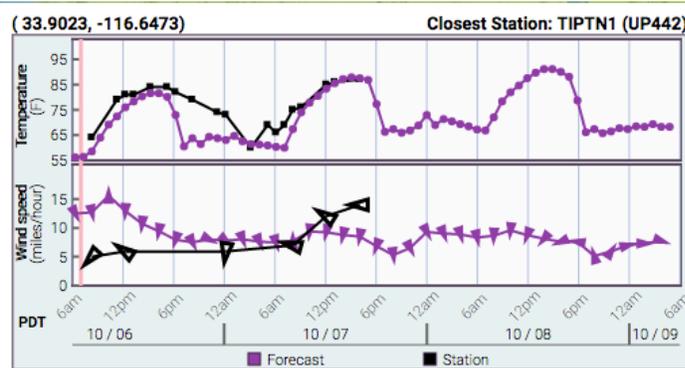
**Figura 3:** La página web de FireBuster permite al usuario visualizar la salida de la corrida de pronóstico de clima de incendio de 5 km más reciente. Los usuarios autorizados también pueden solicitar corridas especiales de 1 km. Las corridas pasadas están archivadas y disponibles para revisión.

Junto con la producción de pronósticos, hemos automatizado la recopilación de datos meteorológicos observados de un gran número de estaciones a través de California, sobre una base diaria. Los datos provienen de la red de estaciones Mesowest, y están disponibles a través de servicios en línea (MesoWest & SynopticLabs 2016). Revisamos y seleccionamos estaciones de alta calidad para mostrarlas en la página web de FireBuster. Estos datos son reformateados para mostrarlos en la página y se pueden utilizar para la validación del modelo (Figura 4). El usuario puede ver los datos de la estación haciendo clic en una casilla de selección en la página. Los datos de la estación visualizados son de hora en hora, como los datos pronosticados, y consisten en temperatura, humedad relativa y velocidad y dirección del viento. Obviamente, estos datos observados sólo pueden ser graficados para horas pasadas.



**Figura 4:** Pronóstico de 1 km para las cercanías de un incendio forestal activo, mostrando las ubicaciones de las estaciones meteorológicas cercanas. Los íconos de estación indican temperatura, dirección del viento y velocidad del viento. Más datos de las estaciones se hacen disponibles mediante hacer clic en los íconos.

Además de visualizar los valores climatológicos sobre un área para cada hora, incluimos una función a la página web para realizar un “pronóstico meteorológico local” para cualquier ubicación sobre el mapa en la que el usuario haga clic. Ello consiste en gráficos en series de tiempo de temperatura e información del viento para una sola ubicación (Figura 5). Si están disponibles, los datos observados desde la estación meteorológica más cercana también son graficados. Esto permite la validación de los valores pronosticados a lo largo del tiempo.



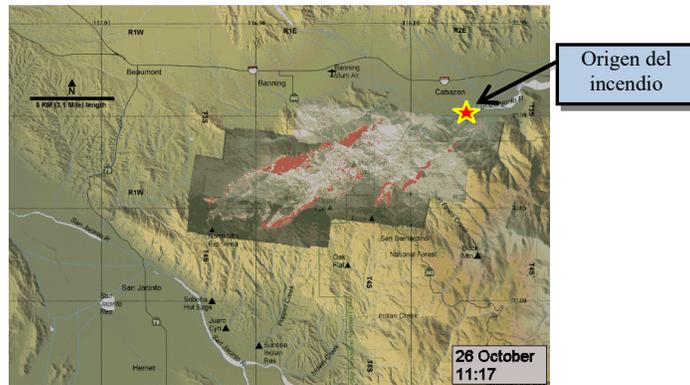
**Figura 5:** Pronóstico meteorológico local de una sola ubicación en la página web de FireBuster. Se muestran los trazos para todos los valores pronosticados de 72 horas para temperatura y viento (morado). También se muestran los datos observados disponibles de la estación meteorológica más cercana (negro).

A menudo existe interés en examinar escenarios meteorológicos pasados para patrones de mayor resolución. A la par del sistema de predicción del clima de incendios FireBuster, hemos desarrollado un producto similar para analizar datos meteorológicos modelados del pasado, llamado FireBusterSim. El FireBusterSim

proporciona *simulaciones* a escala reducida de los campos meteorológicos en lugar de los pronósticos. La página web es muy similar a la página regular de FireBuster, pero con algunas variaciones. El FireBusterSim utiliza datos archivados del GDAS (*Global Data Assimilation System*) del NCEP para producir clima modelado de escala reducida a una resolución más alta. Esto es útil para estudiar la habilidad añadida del modelo de mesoescala a partir de la salida del modelo más robusto. Podemos utilizar FireBusterSim para conocer más detalles sobre el flujo cercano a la superficie; así como conocer la forma en que contar con un pronóstico de resolución de cuadrícula de 1 km sería más benéfico que contar con el producto de resolución de 5 km.

## **Estudio de caso: El incendio de Esperanza**

Estudiamos la forma en que los datos meteorológicos de alta resolución, como los producidos por el FireBuster y el FireBusterSim, podrían ayudar en un incidente de incendio. Investigamos el incendio de Esperanza de 2006, ocurrido en el Distrito San Jacinto del Bosque Nacional de San Bernardino, en el sur de California. A pesar de que este incendio ocurrió hace varios años, una cantidad importante de datos ha sido recopilada al respecto debido a una investigación sobre las muertes de cinco bomberos durante su supresión. El incendio inició durante las condiciones de Santa Ana –un periodo de vientos fuertes descendiendo desde la Gran Cuenca acompañados de humedades bajas y temperaturas cálidas que es común en el otoño, en el sur de California. La investigación del accidente determinó que el incendio fue impulsado por el viento principalmente, con velocidades de éste de cerca de 40 millas por hora (~64 km por hora), ráfagas cercanas a 60 millas por hora (~96 km por hora), y humedad relativa menor a 10% (Equipo de Investigación de Esperanza, 2007. pág. 65). Imágenes aéreas del incendio (Riggan et al. 2010, Coen y Riggan 2014) mostraron que el incendio inició a avanzar en dirección suroeste durante las primeras horas después de haber sido reportado inicialmente el 26 de octubre de 2006, a la 1:11 a.m. (Figura 6). En última estancia, el incendio creció a 41,000 acres (~16,600 hectáreas).



**Figura 6:** Imagen de FireMapper, un sistema de mapas térmicos aéreos que puede identificar secciones activas de un perímetro de incendio. El incendio de Esperanza se muestra ardiendo predominantemente hacia el suroeste después de las primeras horas.

El incendio de Esperanza ocurrió en terreno escarpado, rugoso, con muchas colinas y cañones. Estas características del terreno serían indetectables a los modelos meteorológicos robustos, sin embargo, estos contribuyen en gran medida al comportamiento del incendio. Por ejemplo, además de las condiciones meteorológicas, un “drenaje de un angosto arroyo sin nombre” contribuyó al comportamiento extremo del incendio cerca del sitio de la muerte de los bomberos:

*“Los vientos de Santa Ana se alinearon con el ‘drenaje del arroyo sin nombre’ y la inversión fue penetrada por la elevación térmica de una oleada de fuego que contribuyó al comportamiento extremo del fuego y a la ignición del área”.*

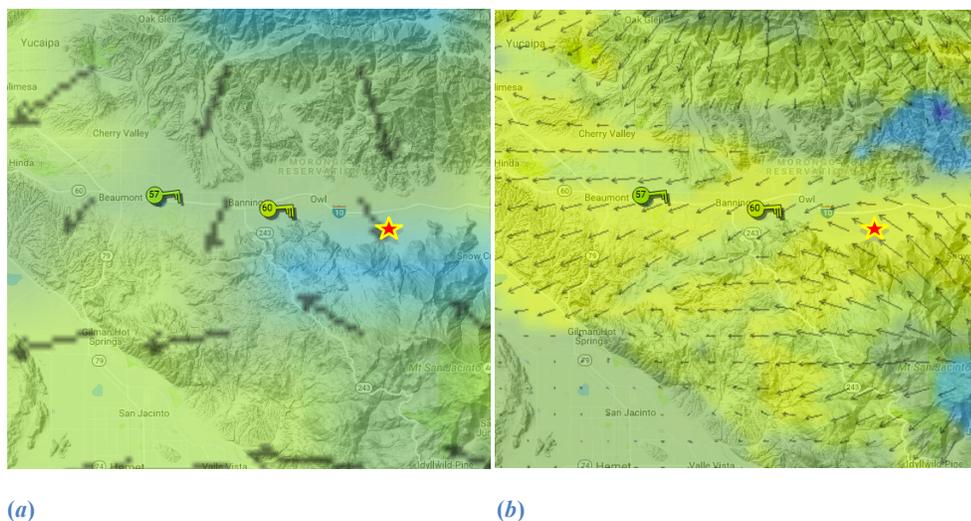
(Equipo de Investigación de Esperanza, 2007)

Accedimos a datos archivados del modelo inicial del NCEP para correr el MSM para el tiempo del incendio de Esperanza. Las corridas del FireBusterSim fueron realizadas a resoluciones de cuadrícula de 5 y 1 km. Conforme la resolución incrementa, la topografía tiene una mayor influencia sobre la salida del modelo de mesoescala. Los datos del modelo de 1 km deberían por tanto producir valores de viento y temperatura más realistas en terreno complejo que la versión de 5 km. Se espera que tanto las corridas de 5 y 1 km de FireBusterSim provean salidas más precisas que las de datos archivados del Modelo de Pronóstico Global del NCEP, el cual establece las condiciones iniciales para las corridas del modelo. De manera similar, los *pronósticos* de FireBuster deberían demostrar mayor precisión con resolución aumentada.

## Resultados

Realizamos una corrida de 5 km de FireBusterSim iniciada el 25 de octubre de 2006 para capturar las horas de inicio del Incendio de Esperanza. En esta resolución, se tuvieron en cuenta las características generales del terreno. Sin embargo, sobre el paisaje accidentado en el lugar del incendio, la velocidad y la dirección del viento modeladas sólo fueron influenciadas por la topografía de gran escala. El campo general de temperatura también pareció variar sólo ligeramente durante cada hora.

Posteriormente modelamos el área a una resolución de 1 km. En contraste con la corrida de 5 km, los accidentes topográficos parecieron haber afectado los valores de viento y temperatura (Figura 7). Similarmente, pudo observarse mayor variación en la humedad relativa y otras variables en los datos del modelo a escala reducida. La dirección general y velocidad del viento, así como la temperatura producida a resolución de 1 km, coincidieron con las observaciones de dos estaciones meteorológicas en el área. Los vientos de ninguna de las dos resoluciones parecieron explicar la propagación inicial del incendio hacia el suroeste desde el origen; los vientos de la resolución de 5 km eran predominantemente hacia el sur, y los de la resolución de 1 km eran hacia el noroeste durante las primeras horas. Es posible que combustibles (principalmente salvia seca, chamizo y pastos en esta zona), así como la pendiente cuesta arriba impulsaran la dirección de propagación del incendio durante



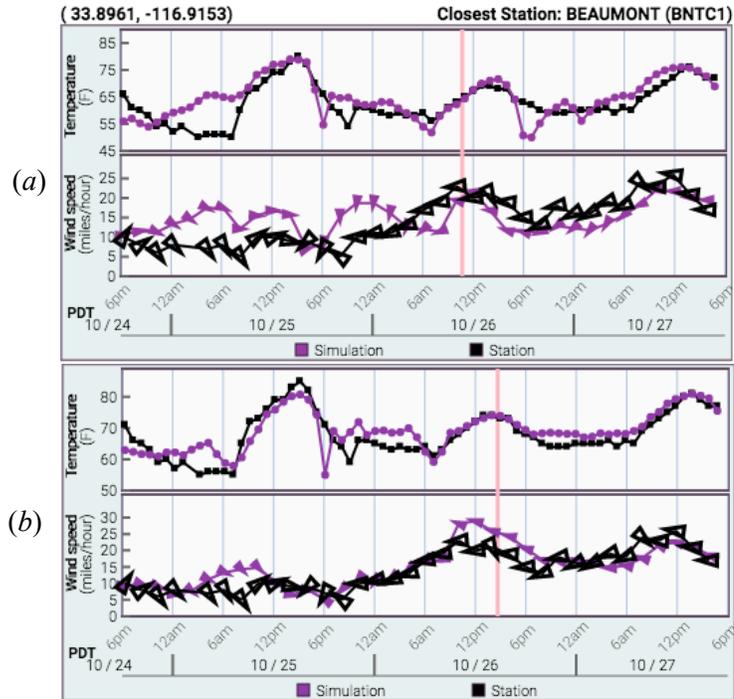
**Figura 7:** Salidas de los modelos FireBusterSim de 5 km (a) y 1 km (b) para el área del Incendio de Esperanza, para el 26 de octubre de 2006, a las 7 a.m. hora local. El icono de estrella indica la localización aproximada del origen del incendio. Se muestran dos estaciones meteorológicas: Beaumont (izquierda) y Banning (derecha). La corrida de 1 km (b) vectores viento alineados más cercanamente con las estaciones meteorológicas y el avance del incendio (al suroeste) que con la corrida de 5 km. También puede verse más variación en los valores de temperatura en la imagen de 1 km. Nótese que sólo cada tercer vector viento se muestra en las imágenes.

la madrugada. La salida del modelo de 1 km, sin embargo, mostró vientos soplando en dirección suroeste varios kilómetros al oeste del origen del incendio. Además, conforme el día 26 de octubre de 2006 transcurrió, el viento modelado cambió de una dirección noroeste hacia una más orientada al oeste.

Fue posible comparar las variaciones de tiempo para una ubicación fija aleatoria mediante el uso de la función “pronóstico meteorológico local” en la página de FireBusterSim. La comparación de valores de los modelos para la temperatura, velocidad del viento y dirección del viento pudo hacerse con los datos hora-tras-hora observados durante todo el período de la corrida, ya que los datos históricos de la estación se archivan junto con los pronósticos anteriores. Los valores de 5 km y 1 km podrían ser comparados para la misma ubicación para examinar la precisión a lo largo del tiempo (Figura 8). Los valores de temperatura de 1 km parecieron coincidir más cercanamente con los datos observados de las estaciones<sup>6</sup> que con los de la corrida de 5 km. Del mismo modo, los datos de velocidad y dirección del viento del modelo de 1 km se ajustaron mejor a los datos de la estación que los datos del modelo más robusto.

---

<sup>6</sup> De la estación meteorológica Beaumont (RAWS Id: BNTC1), aproximadamente a 3.3 millas (5.4 kilómetros) de distancia.



**Figura 8:** “Pronóstico meteorológico local” (serie de tiempo) de una sola ubicación. El recuadro (a) muestra los valores de FireBusterSim y los observados de temperatura y viento utilizando la resolución de 5 km; el recuadro (b) muestra la resolución de 1 km. Los marcadores triangulares de viento señalan la dirección a la que el viento se dirige.

## Discusión

Los avances tecnológicos durante los años recientes nos han permitido producir pronósticos a la resolución de FireBuster en una manera suficientemente oportuna para usarse operacionalmente. Las crecientes velocidades de procesamiento del hardware computacional, la abundancia de datos meteorológicos, y la accesibilidad de la red han contribuido a la construcción de mejores herramientas de manejo del fuego. El FireBuster tiene la meta específica de ayudar a los involucrados en el manejo del fuego. Provee pronósticos del clima de incendios de alta resolución para California, aunque el dominio probablemente puede ser adaptado para cualquier región geográfica a nivel global. Contar con valores de pronóstico a espaciamientos de 5 y 1 km, para cada hora y hasta 72 horas, ofrece una mejoría grande sobre los pronósticos oficiales de escala más robusta. Estos modelos de espectro a mesoescala de mayor resolución incorporan detalles topográficos más finos, permitiéndoles resolver viento, temperatura, y otras variables meteorológicas de incendios en terrenos accidentados donde frecuentemente se necesita combatir incendios.

El FireBuster también puede ser el punto de partida para pronosticar el peligro de incendios con altas resoluciones espaciales y temporales. El sistema de

clasificación de peligro de incendio de los EE.UU. se basa en conocer las condiciones meteorológicas, así como la información de la topografía y de los combustibles para calcular un conjunto de índices que miden el potencial de incendio (Bradshaw et al. 1984, Cohen y Deeming 1985, Deeming et al. 1977). Para el cálculo del peligro de incendio, los valores de humedad de los combustibles también deben ser rastreados diariamente por el FireBuster.

Agregar una capa de datos económicos al sistema puede permitir a los usuarios evaluar el impacto monetario de posibles eventos de incendio (Benoit et al. 2013). Sin embargo, recolectar tales datos a nivel estatal es difícil, puesto que consistirían tanto en valores de mercado, como de no mercado. Los precios de bienes raíces y las cuotas del uso recreativo, entre otros datos económicos necesitarían ser incorporados a la capa de datos, que debería ser periódicamente actualizada. Ha habido discusiones sobre incluir datos económicos al FireBuster en el futuro; sin embargo, probablemente tomaría una cantidad considerable de tiempo para desarrollar por completo esta incorporación.

Actualmente, el FireBuster y el FireBusterSim se están utilizando primordialmente en un entorno de investigación y desarrollo. La comunicación periódica con personal de manejo de incendios proporciona sugerencias sobre mejoras para el sistema. Funciones adicionales se están desarrollando y serán incorporadas próximamente. Debido a su demanda, el sistema FireBuster proporcionará archivos de datos meteorológicos en un formato que pueda ser leído directamente en FASITE, un conocido modelo de propagación de incendios utilizado en los EE.UU. (Finney, 1998). Los perímetros progresivos de incendio de los incendios bien documentados serán convertidos a un formato que pueda ser mostrado en la página web de FireBusterSim. Se está desarrollando una versión móvil de la página web, que permitirá a los usuarios de Smartphone o Tablet visualizar un pronóstico meteorológico local de su ubicación actual. Dicho diseño se dirige a personal de manejo de incendios que cuenten con acceso a Internet para visualizar al instante el clima de incendio en sus áreas. Una versión operacional de FireBuster debería estar disponible el próximo año.

## **Agradecimientos**

El desarrollo del FireBuster fue apoyado por fondos del Centro de Evaluación de Amenazas Ambientales de la Vida Silvestre del Oeste (WWETAC, por sus siglas en inglés), el Programa Conjunto de la Ciencia de Incendios y el Servicio Forestal de los EE.UU. También ofrecemos agradecimientos sinceros a Tom Rolinski (Meteorólogo del Servicio Forestal de los EE.UU. para el CCAG del Sur de California) por su valiosa contribución al desarrollo del Sistema.

## Referencias

- Benoit, John W.; González-Cabán, Armando; Fujioka, Francis M.; Chen, Shyh-Chin; Sánchez, José J.** 2013. Spatial allocation of market and nonmarket values in wildland fire management: A case study. In: González-Cabán, Armando, tech. coord. Proceedings of the Fourth International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Climate Change and Wildfires. General Technical Report PSW-GTR-245 (English). Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station: 213-224.
- Bradshaw, Larry S.; Deeming, John E.; Burgan, Robert E.; Cohen, Jack D.** 1984. The 1978 National Fire-Danger Rating System: technical documentation. General Technical Report INT-169. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 44 p.
- Chen, Shyh-Chin; Roads, John O.; Juang, Hann-Ming H.; Kanamitsu, Masao.** 1999. Global to regional simulation of California wintertime precipitation. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 104 (D24) 31517-31532.
- Chen, Shyh-Chin; Preisler, Haiganoush K.; Fujioka, Francis; Benoit, John W.; Roads, John O.** 2008. Seasonal Predictions for Wildland Fire Severity. The 3rd International Symposium on Fire Economics, Planning and Policy: Common Problems and Approaches. Carolina, Puerto Rico, April 29-May 2, 2008.
- Coen, Janice L.; Riggan, Philip J.** 2014. Simulation and thermal imaging of the 2006 Esperanza Wildfire in southern California: application of a coupled weather-wildland fire model. *International Journal of Wildland Fire* 23: 755-770. Available at <http://dx.doi.org/10.1071/WF12194> [Verified 13 October 2016].
- Cohen, Jack D.; Deeming, John E.** 1985. The National Fire-Danger Rating System: basic equations. General Technical Report PSW-82. Berkeley, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. 16 p.
- Deeming, John E.; Burgan, Robert E.; Cohen, Jack D.** 1977. The National Fire-Danger Rating System – 1978. General Technical Report INT-39. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 63 p.
- Esperanza Investigation Team.** 2007. Esperanza Fire accident investigation factual report, Riverside County, CA. Available at [http://www.fire.ca.gov/fire\\_protection/downloads/esperanza\\_00\\_complete\\_final\\_draft\\_05\\_01\\_2007.pdf](http://www.fire.ca.gov/fire_protection/downloads/esperanza_00_complete_final_draft_05_01_2007.pdf) [Verified 12 October 2016].
- Finney, Mark A.** 1998. FARSITE: Fire Area Simulator—model development and evaluation. Res. Pap. RMRS-RP-4, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 p.
- Google Maps API.** 2016. Google, Inc. <https://developers.google.com/maps/>. Accessed 15 October 2016.
- Juang, Hann-Ming H.** 2000. The NCEP mesoscale spectral model: the revised version of the nonhydrostatic regional spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 2329-2362.
- Juang, Hann-Ming H.; Kanamitsu, Masao.** 1994. The NMC nested regional spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 3-26.
- MesoWest & SynopticLabs.** 2016. The University of Utah. <https://synopticlabs.org>. Accessed 13 October 2016.
- Riggan, Philip J.; Wolden, Lynn G.; Tissell, Robert G.; Coen, Janice.** 2010. Remote sensing fire and fuels in southern California. In ‘Proceedings of 3rd Fire Behavior and Fuels

Conference', 25–29 October 2010, Spokane, Washington. International Association of Wildland Fire: Birmingham, AL, USA.

**Roads J.; Tripp P.; Juang H.; Wang J.; Fujioka F.; Chen, S.-C.** 2010. NCEP/ECPC Monthly to Seasonal US Fire Danger Forecasts. *International Journal of Wildland Fire*, 19, 399-414.

**Weise, David R.; Chen, Shyh; Riggan, Philip J.; Fujioka, Francis M.** 2007. Using high-resolution weather data to predict fire spread using the FARSITE simulator – a case study in southern California chaparral. In 'Proceedings of the Seventh Symposium on Fire and Forest Meteorology', 23–25 October 2007, Bar Harbor, ME. Paper 8.2. American Meteorological Society: Boston, MA, USA. Available at <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/126873.pdf> [Verified 12 October 2016].

**Wildland Fire Assessment System.** 2016. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. <http://www.wfas.net/>. Accessed 15 October 2016.

# Desarrollo de un Sistema Nacional de Peligro de Incendios Forestales Para México<sup>1</sup>

**Daniel J. Vega-Nieva<sup>2</sup>, María G. Nava-Miranda<sup>2</sup>, Erik Calleros-Flores<sup>2</sup>, Pablito M. López-Serrano<sup>2</sup>, Jaime Briseño-Reyes<sup>2</sup>, Favian Flores Medina<sup>2</sup>, Carlos López-Sánchez<sup>2</sup>, José J. Corral-Rivas<sup>2</sup>, Armando González-Cabán<sup>3</sup>, Ernesto Alvarado-Celestino<sup>4</sup>, Isabel Cruz<sup>5</sup>, Martín Cuahltle<sup>5</sup>, Reiner Ressler<sup>5</sup>, Albert Setzer<sup>6</sup>, Fabiano Morelli<sup>6</sup>, Diego Pérez-Salicrup<sup>7</sup>, Enrique Jardel-Pelaez<sup>8</sup>, Citlali Cortes-Montaño<sup>2</sup>, José A. Vega<sup>9</sup>, Enrique Jiménez<sup>8</sup>**

## Resumen

Esta presentación presenta el proyecto "Desarrollo de un Sistema de Peligro de Incendios para México" financiado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). El objetivo del proyecto de 3 años es desarrollar un sistema operacional de peligro de incendios para mapear el riesgo de ocurrencia diario y previsto de incendios y el peligro de propagación de incendios en México, que estará en línea para la toma de decisiones sobre manejo del fuego por la CONAFOR y los actores de manejo del fuego en México. La presentación resume las metas y la estructura del proyecto y los resultados del primer año del proyecto, incluyendo: 1) El desarrollo de un módulo de riesgo de ocurrencia de incendios para mapear el número esperado de incendios con base en el tipo de vegetación, la información meteorológica y satelital, y 2) El desarrollo de una interfaz en línea para el mapeo diario del riesgo y peligro de incendios en México.

Palabras clave: Índices de sequedad de combustible, México, peligro de incendios, riesgo de incendio, sistema de apoyo a la toma de decisiones en línea.

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este documento fue presentada en el Quinto Simposio Internacional sobre Economía, Planificación y Política de Incendios: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango (México). \*autor de correspondencia. Email: [danieljvn@gmail.com](mailto:danieljvn@gmail.com)

<sup>3</sup> Economista de Investigación, Estación de Investigación del Pacífico Suroeste. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

<sup>4</sup> Escuela de Ciencias Ambientales y Forestales. Universidad de Washington.

<sup>5</sup> Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

<sup>6</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Brazil).

<sup>7</sup> Universidad Autónoma de México (México).

<sup>8</sup> Universidad de Guadalajara (México).

<sup>9</sup> Centro de Investigación Forestal – Lourizán, Xunta de Galicia (España).

## **Introducción**

En México no existe actualmente ningún sistema operacional de peligro de incendios. Esto contrasta con países como Estados Unidos, Canadá o Brasil que han desarrollado sistemas operacionales de riesgo de incendios basados en la cuantificación temporal y espacial del verdor del combustible y el riesgo y peligro de incendios asociados (Por ejemplo, Deeming et al., 1977, Burgan et al., 1997, 1998, Preisler et al., 2004, 2008, 2011, Riley et al., 2013, Van Wagner, 1987, Sismanoglu y Setzer, 2012).

Esta falta de un sistema operativo de peligro de incendios llevó a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y al Agencia Nacional de Investigación (CONACYT en español) a financiar el proyecto a escala nacional “Desarrollo de un Sistema de Peligro de Incendios Forestal para México”. El principal objetivo del estudio es el desarrollo de un sistema operacional de cartografía de riesgo de incendio y peligro basado en la información meteorológica y satelital para México (Vega-Nieva et al., 2015). Este documento resume las metas y estructura del proyecto y los resultados del primer año del proyecto, incluyendo:

- 1) El desarrollo de un módulo de riesgo de ocurrencia de incendios para mapear el número esperado de incendios basado en el tipo de vegetación, la información meteorológica y
- 2) El desarrollo de una interfaz en línea para la cartografía diaria del riesgo de incendio y el peligro en México.

### **Objetivos del Proyecto "Desarrollo de un Sistema de Peligro de Incendios Forestal para México".**

En México, CONABIO (<http://incendios1.conabio.gob.mx/>), ha implementado un sistema de cartografía en tiempo real de los focos del incendio, pero no existe un sistema operativo para la predicción del Riesgo de Incendio (probabilidad de ocurrencia de incendio) o Peligro de Incendios (comportamiento esperado del incendio y dificultad de supresión) que este actualmente disponible para México. El Proyecto 252620 en respuesta a la convocatoria 3-C02-2014 del CONACYT-CONAFOR tiene como objetivo el desarrollo de un Sistema Operacional de Riesgos y Peligro de Incendios que utilizará la CONAFOR y los agentes relevantes en la toma de decisiones sobre manejo de incendios en México. El proyecto está siendo realizado por un consorcio de investigadores de varias instituciones de México, Estados Unidos, Brasil y España.

- 1) Los objetivos del proyecto son:
- 2) Realizar una revisión bibliográfica del Riesgo y Peligro de Incendios.
- 3) Poner a prueba los sistemas existentes de Riesgo y Peligro de Incendios para la predicción de incendios en México

- 4) Desarrollar un Sistema Mexicano de Riesgo de Incendio para la predicción de incendios
- 5) Desarrollar un sistema de pronóstico del Clima de Incendio para México
- 6) Desarrollar un módulo de mapeo del Área de Incendio en México
- 7) Probar los sistemas existentes de Peligro de Incendios en México contra los registros de áreas de incendios
- 8) Desarrollar un Sistema Mexicano de Peligro de Incendios
- 9) Desarrollar y transferir a CONAFOR un software en línea para la cartografía del Peligro de Incendios actual y previsto en México.

### **Modelando el riesgo de ocurrencia de incendios a partir de la sequedad mensual del combustible basado en satélite por tipo de vegetación y región en México.**

Dentro de este proyecto nacional, un estudio fue realizado por Vega et al. (2016) con los objetivos de: 1) cuantificar las tendencias temporales mensuales del índice de verbor, PM, del combustible basado en satélites MODIS y las tendencias temporales de la densidad del incendio (DI) por tipo de vegetación y región en México 2) probar modelos de regresión simples para la predicción de la DI mensual por tipo de vegetación y región de los valores mensuales de la PM en México. La metodología y los principales resultados de este estudio se resumen a continuación.

## **Metodología**

### **Área de estudio**

El área de estudio fue la república mexicana. La figura 1 muestra los tipos de vegetación presentes en el país según el mapa de uso de la tierra más reciente del INEGI (INEGI Mapa de uso de tierra Serie V, 1: 25000 <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usosuelo/>). Se establecieron cuatro regiones geográficas, Noroeste (NO), Noreste (NE), Centro (C) y Sur (S), considerando tanto la zonificación potencial de regímenes de incendios para México (Jardel et al., 2014), basado en los tipos de vegetación y zonas climáticas (Holridge, 1996), junto con una observación visual de los patrones temporales y espaciales de agrupamiento en los focos del incendio en el período de estudio.

### **Focos satelitales e índices de sequedad de combustible.**

Teniendo en cuenta la disponibilidad de la información sobre los focos de incendio por MODIS para México, seleccionamos el período 2003-2014 para nuestro estudio.

Hemos compilado los focos de incendios MODIS mensuales durante los 12 años del período de estudio de CONABIO (<http://incendios1.conabio.gob.mx/>).

Las imágenes compuestas mensuales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (IVDN) con una resolución espacial de 1 x 1 km (MODIS producto MOD13A3) del periodo de estudio fueron descargadas de <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>.

Siguiendo a Burgan et al. (1998), se calcularon los valores de Proporción Muerta (PM) para cada píxel basándose en los valores del IVND para cada imagen mensual, en los valores máximos y mínimos del IVND para cada píxel y en los valores observados absolutos máximos y mínimos del IVND en el área de estudio durante todo el período de estudio. La PM es un índice empírico que representa la fracción de combustible que no está vivo ( $PM = 100 - \text{Proporción Viva}$ ), alcanzando 100 en un combustible completamente curado sin biomasa viva y con valores menores que representan combustibles con una mayor fracción de Biomasa viva (Burgan et al., 1998).

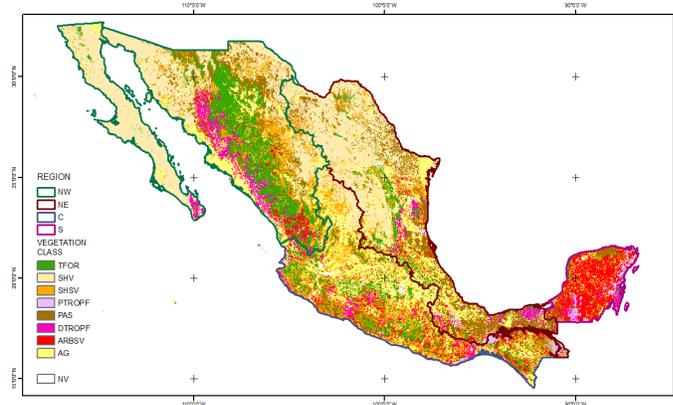


Figura 1. Mapa de los tipos de vegetación y regiones consideradas en el análisis. Dónde: BT: Bosque Templado, VA: Vegetación Arbórea, VSAr: Vegetación Secundaria Arbustiva, BTP: Bosque Tropical Perenne, PAS: Pastizales, BTD: Bosque Tropical Deciduo, VSA: Vegetación Secundaria Arbórea, AG: Agricultura, SV: Sin Vegetación; y NO: Noroeste, NE: Noreste, C: Centro, S: regiones del sur. Fuente: INEGI mapa de uso del suelo (serie V)

### Índice de Densidad de Incendio.

Para cada uno de los 28 tipos de vegetación y regiones consideradas, la Densidad de Incendio (DI) mensual se calculó dividiendo el número de incendios en el área por la superficie ( $\text{km}^2$ ) de la vegetación/región considerada. Los valores mensuales de la DI para cada tipo de vegetación y región fueron escalados a un Índice de Densidad de Incendio (IDI) como sigue:

$$\text{IDI} = \text{Número de incendios} / \text{Superficie (km}^2) \times 5000$$

El IDI se define de manera que una DI de 0.01 incendios/ $\text{km}^2$  - por ejemplo 1 incendio / 100  $\text{km}^2$  - equivale a un valor de IDI de 50. En consecuencia, una DI de 2

incendios / 100 km<sup>2</sup> equivale a un valor de 100 IDI, lo que podría ser considerado un indicador de una alta densidad de incendios.

**Modelando el IDI mensual a partir de la PM.**

La temporada de incendios se concentró en los primeros 6 meses del año para todos los tipos de vegetación considerados. Consecuentemente, todos los usos de la tierra fueron modelados para el período enero-junio. Probamos las ecuaciones de potencia lineal y no lineal como modelos de regresión. La Tabla 1 resume las ecuaciones ensayadas. Se permitió que cada mes o grupo de meses tuviesen coeficientes distintos multiplicando la PM observada por una variable dicotómica (0 ó 1) para que cada mes o grupo de meses obtuviera un parámetro individual, tanto en los modelos lineal como no lineal (ecuaciones 1 y 7, tabla 1). Después de observar los coeficientes obtenidos en este enfoque, varios grupos de meses fueron probados como candidatos para agrupar con los mismos coeficientes (ecuaciones 2-6 8-12). El análisis estadístico y gráfico se utilizó para evaluar el desempeño de las ecuaciones. La bondad de ajuste de cada modelo se evaluó utilizando el coeficiente de determinación ajustado (R<sup>2</sup>) y la raíz del error cuadrático medio (RECM).

**Tabla 1. Ecuaciones probadas para la predicción del Índice de Densidad de Incendio mensual a partir de los valores de la Proporción Muerta. Dónde: IDI: Índice de Densidad de Incendio mensual, PM: proporción muerta mensual, a y b son coeficientes del modelo, E: Enero, F: Febrero, M: Marzo, A: Abril, My: Mayo, Ju: Junio, Jl: Julio, Ag: Agosto, S: Septiembre, O: Octubre, N: Noviembre, D: Diciembre.**

| Num. Ec. | Tipo      | Meses Agrupados | Ecuación  |
|----------|-----------|-----------------|---|
| 1        | Lineal    | -               | $IDI = a + (b_E PM_E + b_F PM_F + b_M PM_M + b_A PM_A + b_{My} PM_{My} + b_{Ju} PM_{Ju})$ |
| 2        | Lineal    | E&F             | $IDI = a + (b_{EF} PM_{EF} + b_M PM_M + b_A PM_A + b_{My} PM_{My} + b_{Ju} PM_{Ju})$      |
| 3        | Lineal    | E,F&M           | $IDI = a + (b_{EFM} PM_{EFM} + b_A PM_A + b_{My} PM_{My} + b_{Ju} PM_{Ju})$               |
| 4        | Lineal    | E,F&M, A&My     | $IDI = a + (b_{EFM} PM_{EFM} + b_{AMy} PM_{AMy} + b_{Ju} PM_{Ju})$                        |
| 5        | Lineal    | E,F&M, A&Ju     | $IDI = a + (b_{EFM} PM_{EFM} + b_{AJu} PM_{AJu} + b_{My} PM_{My})$                        |
| 6        | Lineal    | E,F,M&A, My&Ju  | $IDI = a + (b_{EFMA} PM_{EFMA} + b_{MyJu} PM_{MyJu})$                                     |
| 7        | No lineal | -               | $IDI = (a_E PM_E + a_F PM_F + a_M PM_M + a_A PM_A + a_{My} PM_{My} + a_{Ju} PM_{Ju})^b$   |
| 8        | No lineal | E&F             | $IDI = (a_{EF} PM_{EF} + a_M PM_M + a_A PM_A + a_{My} PM_{My} + a_{Ju} PM_{Ju})^b$        |
| 9        | No lineal | E,F&M           | $IDI = (a_{EFM} PM_{EFM} + a_A PM_A + a_{My} PM_{My} + a_{Ju} PM_{Ju})^b$                 |
| 10       | No lineal | E,F&M, A&My     | $IDI = (a_{EFM} PM_{EFM} + a_{AMy} PM_{AMy} + a_{Ju} PM_{Ju})^b$                          |
| 11       | No lineal | E,F&M, A&Ju     | $IDI = (a_{EFM} PM_{EFM} + a_{AJu} PM_{AJu} + a_{My} PM_{My})^b$                          |

|    |           |                |  |
|----|-----------|----------------|--|
| 12 | No lineal | E,F,M&A, My&Ju | $IDI = (a_{EFMA}PM_{EFMA} + a_{MyJu}PM_{MyJu})^b$  |
| 13 | Lineal    | -              | $IDI = a + (b_E PM_E + b_F PM_F + b_M PM_M + b_A PM_A + b_{My} PM_{My} + b_{Ju} PM_{Ju} + b_{Ag} PM_{Ag} + b_S PM_S + b_O PM_O + b_N PM_N + b_D PM_D)$ |
| 14 | No lineal | -              | $IDI = (a_E PM_E + a_F PM_F + a_M PM_M + a_A PM_A + a_{My} PM_{My} + a_{Ju} PM_{Ju} + a_{Ag} PM_{Ag} + a_S PM_S + a_O PM_O + a_N PM_N + a_D PM_D)$     |
| 15 | No lineal | Todos menos My | $IDI = (a_{EFMAJuJlAuSOND} PM_{EFMAJuJlAuSOND} + a_{My} PM_{My})^b$  |

## Resultados y discusión

La tabla 2 muestra los modelos que mejor ajustaron los datos para cada tipo de vegetación y región y las estadísticas de bondad de ajuste para los mejores modelos. Con excepción de los bosques tropicales caducifolios y perennes del NE, los modelos no lineales describieron mejor los datos que los modelos lineales para todos los tipos y regiones de vegetación, lo que sugiere que la relación de la PM con la ocurrencia de incendios no es linealmente proporcional – por ejemplo, el riesgo de ocurrencia de incendios aumenta muy rápidamente con PM incrementada.

**Tabla 2. Coeficientes y bondad de ajuste de las ecuaciones que mejor ajustaron la predicción del Índice de Densidad de Incendio mensual de los valores de Proporción Muerta para cada tipo de vegetación y región. Donde: Veg\_Reg: Vegetación y región; Ec: la mejor ecuación de ajuste de la tabla 1, a y b son los coeficientes del modelo, E: Enero, F: Febrero, M: Marzo, A: Abril, My: Mayo, Ju: Junio, Jl: Julio, S: Septiembre, O: Octubre, N: Noviembre, D: Diciembre son los coeficientes de para el mes o grupo de meses correspondiente. RECM: Raíz del Error Cuadrático Medio; R<sup>2</sup>adj: R<sup>2</sup> ajustado; BT: Bosque Templado, PAS: Pastizales, BTP: Bosque Tropical Perenne, VSA: Vegetación Secundaria Arbórea, VSArs: Vegetación Secundaria Arbustiva, BTD: Bosque Tropical Deciduo, SV: Sin Vegetación; y NO: Noroeste, NE: Noreste, C: Centro, S: regiones del sur.**

| Veg_Reg | Ec | a      | EF    | M     | EFM   | A     | EFMA  | My    | EMy | Ju    | EJu   | MyJu  | b      | RECM | R <sup>2</sup> ADJ |
|---------|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|--------|------|--------------------|
| BT_C    | 8  |        | 0.019 | 0.021 |       | 0.024 |       | 0.026 |     | 0.023 |       |       | 7.771  | 33.3 | 0,75               |
| BT_NE   | 8  |        | 0.016 | 0.018 |       | 0.019 |       | 0.021 |     | 0.019 |       |       | 10.438 | 15.4 | 0,62               |
| BT_NO   | 12 |        |       |       |       |       | 0.015 |       |     |       |       | 0.017 | 11.371 | 32.4 | 0,62               |
| BT_S    | 9  |        |       |       | 0.016 | 0.016 |       | 0.015 |     | 0.014 |       |       | 25.706 | 11.7 | 0,68               |
| PAS_C   | 8  |        | 0.019 | 0.022 |       | 0.028 |       | 0.032 |     | 0.027 |       |       | 5.276  | 18.2 | 0,95               |
| PAS_NE  | 8  |        | 0.019 | 0.021 |       | 0.024 |       | 0.026 |     | 0.023 |       |       | 5.668  | 9.3  | 0,86               |
| PAS_NO  | 8  |        | 0.011 | 0.011 |       | 0.012 |       | 0.012 |     | 0.013 |       |       | 13.729 | 3.3  | 0,60               |
| PAS_S   | 8  |        | 0.059 | 0.110 |       | 0.178 |       | 0.197 |     | 0.082 |       |       | 2.243  | 92.3 | 0,79               |
| BTP_C   | 9  |        |       |       | 0.024 | 0.034 |       | 0.041 |     | 0.034 |       |       | 4.817  | 35.7 | 0,79               |
| BTP_NE  | 3  | 102.96 |       |       | 2.278 | 2.794 |       | 3.388 |     | 2.266 |       |       | 0.000  | 19.1 | 0,67               |
| BTP_NO  | 12 |        |       |       | 0.015 |       |       |       |     |       |       | 0.020 | 5.662  | 9.1  | 0,67               |
| BTP_S   | 8  |        | 0.019 | 0.021 |       | 0.023 |       | 0.026 |     | 0.023 |       |       | 7.018  | 7.5  | 0,70               |
| BTD_C   | 11 |        |       |       | 0.023 |       |       | 0.052 |     |       | 0.048 |       | 3.234  | 19.5 | 0,91               |

|          |    |        |       |       |       |       |       |        |      |      |
|----------|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|------|
| BTD_NO   | 9  |        | 0.013 | 0.017 | 0.024 | 0.022 | 5.245 | 9.8    | 0,89 |      |
| BTD_NE   | 2  | 219.92 | 3.503 | 3.882 | 4.767 | 5.615 | 5.368 | 0.000  | 78.6 | 0,46 |
| BTD_S    | 8  |        | 0.037 | 0.044 | 0.050 | 0.049 | 0.036 | 3.923  | 28.0 | 0,76 |
| VSA_C    | 8  |        | 0.019 | 0.024 | 0.031 | 0.035 | 0.028 | 5.361  | 26.5 | 0,90 |
| VSA_NE   | 8  |        | 0.022 | 0.025 | 0.028 | 0.034 | 0.028 | 6.131  | 10.7 | 0,94 |
| VSA_NO   | 9  |        | 0.016 | 0.024 | 0.030 | 0.027 |       | 4.706  | 28.6 | 0,70 |
| VSA_S    | 8  |        | 0.034 | 0.059 | 0.080 | 0.080 | 0.034 | 2.956  | 37.0 | 0,79 |
| VSArs_C  | 8  |        | 0.017 | 0.020 | 0.026 | 0.030 | 0.025 | 5.590  | 17.8 | 0,93 |
| VSArs_NE | 10 |        | 0.017 |       |       | 0.022 | 0.019 | 7.257  | 14.6 | 0,73 |
| VSArs_NO | 9  |        | 0.012 | 0.014 | 0.015 | 0.015 |       | 11.690 | 18.9 | 0,65 |
| VSArs_S  | 8  |        | 0.033 | 0.048 | 0.060 | 0.061 | 0.033 | 3.722  | 59.4 | 0,79 |

Se observaron diferentes patrones de relaciones entre el IDI y la PM para diferentes tipos y regiones de vegetación, acorde con observaciones que apuntan a una variedad de regímenes de incendios resultantes de combinaciones de climatología y tipos de combustible en el país (por ejemplo, Rodríguez et al., 1996, 2008, Morfin et al., 2007, 2012, Ávila et al., 2010, Jardel et al., 2009, 2014, Pérez-Verdín et al., 2014). Los coeficientes del modelo derivado durante meses y grupos de meses pueden ofrecer información sobre los patrones de sincronización de la temporada de incendios y sus relaciones con los patrones de PM en diferentes tipos de vegetación y regiones. La mayoría de los tipos de vegetación en la región sur y centro mostraron un inicio temprano de la temporada de incendios (1 mes antes) en comparación con la región NO, lo que sugiere que se requieren períodos más largos de sequía acumulada en esta última región para iniciar el incendio o tal vez reflejan los diferentes patrones de quemas agrícolas en las diferentes regiones del país. Dentro de las regiones, los bosques tropicales mostraron las últimas temporadas de incendios en comparación con otros tipos de vegetación en la misma región (1 o 2 meses más en el NO), lo que sugiere que se requieren periodos de sequía más largos en los ecosistemas más húmedos para iniciar un incendio.

## Desarrollo de una interfaz en línea para el Sistema Mexicano de Peligro de Incendios

En el primer año del proyecto, la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED) programó una interfaz de prueba en línea para el Sistema de Peligro de Incendios Forestal de México, disponible gratuitamente en línea en el enlace:

<http://fcfposgrado.ujed.mx/incendios/inicio/index.php>

La interfaz incluye varias capas para la situación actual (Figura 2) y una sección con la evolución de la sequedad del combustible y los índices de riesgo. (Figura 3), disponible en:

[http://fcfposgrado.ujed.mx/incendios/inicio/historicos\\_animaciones.php](http://fcfposgrado.ujed.mx/incendios/inicio/historicos_animaciones.php)

Las capas incluidas en la interfaz SIG para la situación actual incluyen las capas observadas diariamente para los focos del incendio, el índice de sequedad del combustible y el riesgo de incendio (Figura 2).

Una serie de capas temáticas incluidas en la interfaz SIG, incluyen: Áreas prioritarias de incendios de la CONAFOR, Centros Regionales de Manejo de Incendios, Tipo de cobertura terrestre, Áreas Naturales Protegidas, Límites Estatales, Municipios y Unidades de Manejo Forestal (Figura 1). Un mapa base conteniendo los pueblos, carreteras y topografía de tres fuentes en línea (Bing Maps, ArcGis En línea 1, ArcGis en línea 2) también está incluido. El usuario puede ampliar / reducir usando mapas base como una referencia espacial. El usuario puede activar/desactivar alguna capa en la interfaz SIG, incluyendo la posibilidad de visualizar simultáneamente una combinación de capas (por ejemplo, riesgo de incendio y topografía/mapa de carreteras de Bing Maps) regulando el nivel de transparencia de las capas.

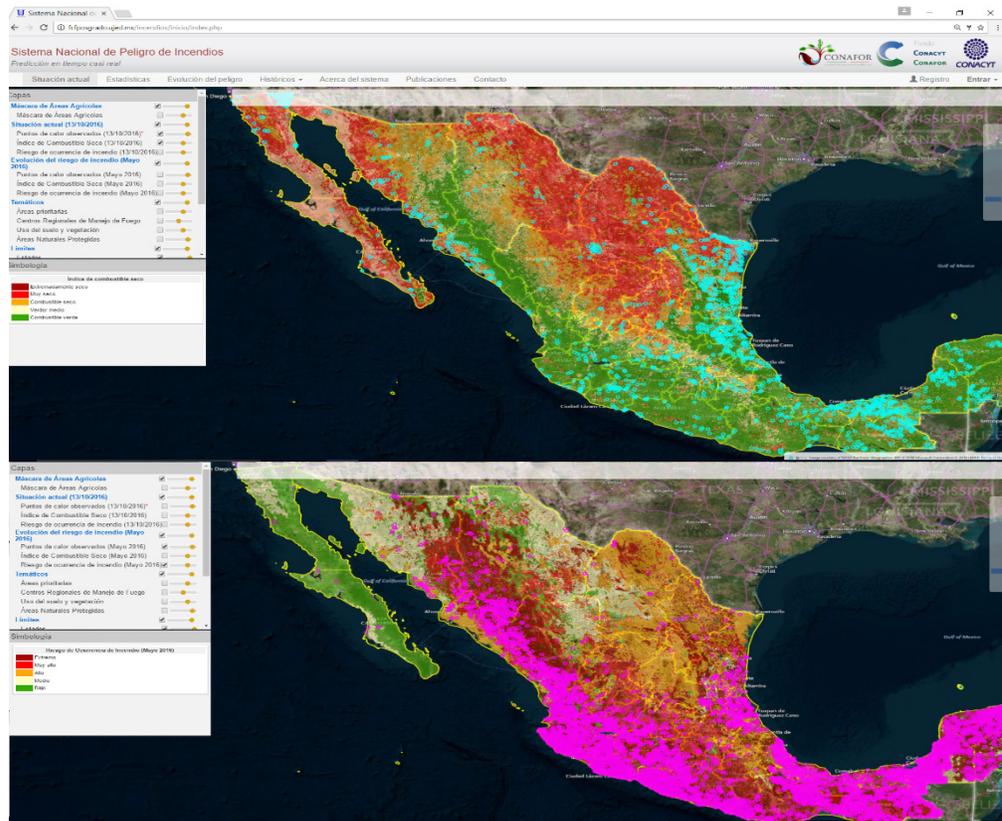


Figura 2. Interfaz en línea del Sistema Mexicano de Peligro de Incendios Forestales: situación actual. La figura superior muestra el índice actual de sequedad del combustible y los focos del

incendio observado (en azul) en octubre de 2016. Los colores representan la sequedad del combustible, siendo verde el combustible muy húmedo y el rojo y el rosa claro las condiciones de combustible seco y muy seco. La figura inferior muestra el mapa de riesgo de incendio predicho y los focos del incendio observado (en color rosa brillante) en mayo de 2016. Los colores representan el riesgo de ocurrencia de incendios, siendo verde baja probabilidad de ocurrencia de incendio y rojo y rojo oscuro representan alto y muy alto riesgo de ocurrencia de incendios. <http://fcfposgrado.ujed.mx/incendios/inicio/index.php>

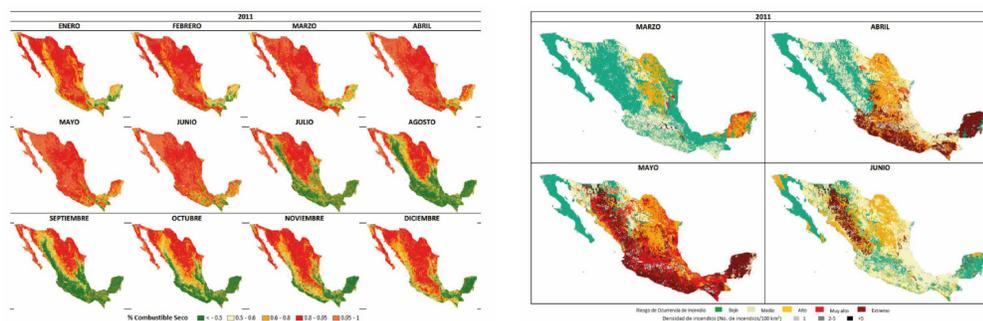


Figura 3. Ejemplos del Índice de Sequedad del Combustible (figura izquierda, sequedad mensual del combustible para 2011) y mapas de riesgo de ocurrencia de incendios (figura derecha, marzo a junio de 2011). Las animaciones de la sequedad del combustible y el riesgo de incendio para los años históricos en México se pueden consultar en la liga: [http://fcfposgrado.ujed.mx/incendios/inicio/historicos\\_animaciones.php](http://fcfposgrado.ujed.mx/incendios/inicio/historicos_animaciones.php)

## Resumen y conclusiones.

El Proyecto "Desarrollo de un Sistema de Peligro de Incendios Forestales para México", financiado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Agencia Nacional de Investigación (CONACYT en español), tiene como objetivo desarrollar un sistema operacional de cartografía de riesgo y peligro de incendios basado en satélites diarios e información meteorológica, que es utilizada por la Agencia Forestal del Gobierno mexicano CONAFOR y los agentes pertinentes en la toma de decisiones sobre manejo de incendios en México. Durante el primer año del proyecto, se han probado varios índices meteorológicos y basados en satélites, con los primeros resultados para la predicción del riesgo de incendio basado en un índice de sequedad del combustible por satélite para México. El trabajo futuro en el proyecto incluirá el desarrollo del riesgo de incendios probabilísticos basado en índices diarios de peligro de incendios que a su vez están basados en el clima, junto con factores espaciales como la distancia hacia las carreteras y ubicaciones. Estos modelos diarios de riesgo de incendio se incluirán en la plataforma en línea que proporcionará evaluaciones diarias de la sequía del combustible y el riesgo de incendio previsto. Esta herramienta operacional se utilizará para mejorar la planificación de la extinción de incendios y por para la toma de decisiones del manejo estratégico de incendios en México.

## Referencias

- Ávila D., Pompa-García M., Antonio-Nemiga X., Rodríguez-Trejo D, Vargas-Pérez E, Santillán-Pérez J. 2010. Driving factors for forest fire occurrence in Durango State of Mexico: a geospatial perspective. *Chin Geo Sci* **20**:491–497. doi:10.1007/s11769-010-0437-x
- Burgan, R.E., Andrews, P.L., Bradshaw, L.S., Chase, C.H., Hartford, R.A., Latham, D.J. 1997. WFAS: wildland fire assessment system, *Fire Management Notes*, **57**(2):14-17, 1997.
- Burgan, R.E., Klaver, R.W., Klaver, J.M. 1998. Fuel Models and Fire Potential from Satellite and Surface Observations. *International Journal of Wildland Fire* **8**(3):159-170.
- Deeming, John E., Burgan, Robert E., Cohen, Jack D. 1977. The National Fire-Danger Rating System - 1978. Gen. Tech. Rep. INT-39. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 63 pp.
- Holridge L. 1996. Ecología basada en Zonas de Vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José. 266 pg.
- Jardel, E.J., Alvarado E., Morfín-Ríos J.E., Castillo-Navarro F., Flores-Garnica J.G. 2009. Regímenes de incendios en ecosistemas forestales de México. En: J.G. Flores-Garnica. Ed. Impacto Ambiental de Incendios Forestales. Mundi-Prensa, INIFAP y Colegio de Postgraduados. México D.F. Pp. 73Z100.
- Jardel, E.J., Pérez-Salicrup, D., Alvarado E., y Morfín Ríos J.E. 2014. Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales: guía de campo. *Comisión Nacional Forestal. Guadalajara, Jal. México. ISBN:978F000F00F000F0*
- Morfín Ríos, J.E., Alvarado Celestino, E., Jardel Peláez, E.J., Vihnanek, R.E., Wright, D.K., Michel Fuentes, J.M., Wright, C.S., Ottmar, R.D., Sandberg, D.V., Nájera Díaz, A. 2007. Fotoseries para la Cuantificación de Combustibles Forestales de México: Bosques Montanos Subtropicales de la Sierra Madre del Sur y Bosques Templados y Matorral Submontano del Norte de la Sierra Madre Oriental. *Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-XXX. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.*
- Morfín, J., E. Jardel y J. Michel. 2012. Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Comisión Nacional Forestal. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 59 p.
- Pérez-Verdín G., Márquez-Linares M.A., Salmerón-Macías M. 2014. Spatial heterogeneity of factors influencing forest fires size in northern Mexico. *Journal of Forestry Research* **25**(2): 291–300 DOI 10.1007/s11676-014-0460-3
- Preisler, H. K., Brillinger, D., Burgan, R. E. and Benoit, J. W. 2004. Probability based models for estimation of wildfire risk. *International Journal of Wildland Fire* **13** 133–142.
- Preisler, H.K., Burgan, R.E., Eidenshink, J.C., Klaver, J.M., Klaver, R.W. 2009. Forecasting Distributions of Large Federal-Lands Fires Utilizing Satellite and Gridded Weather Information. *International Journal of Wildland Fire* **18**, 508–516
- Preisler, H. K., Westerling, A. L., Gebert, K. M., Muñoz-Arriola, F. and Holmes, T. P. 2011. Spatially explicit forecasts of large wildland fire probability and suppression costs for California. *International Journal of Wild land Fire* **20** 508–517.
- Riley K.L., Abatzoglou J.T., Grenfell I.C., Klene A.E., Heinsch F. Ann. 2013. The relationship of large fire occurrence with drought and fire danger indices in the western

USA, 1984–2008: the role of temporal scale. *International Journal of Wildland Fire* **22**, 894–909.

**Rodriguez-Trejo, D.** 1996. Incendios forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Multi-Prensa. Mexico. 630 p.

**Rodríguez-Trejo D.A.** 2008. Fire regimes, fire ecology and fire management in Mexico. *Ambio* 37:548–556.

**Setzer, A.W. Sismanoglu, R.A.** 2012. Risco de Fogo: Metodologia do Cálculo – Descrição sucinta da Versão 9 .INPE Report.

**Van Wagner C.E.,** 1987. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. *Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report* 35. Ottawa, Canada.

**Vega-Nieva D., López-Serrano P. M., Briseño-Reyes, J., López-Sánchez C., Corral-Rivas, J., Cortés-Montaña C., Alvarado-Celestino E., González-Cabán A., Setzer A., Cruz I., Ressler, R., Pérez-Salicrup D., Villers-Ruiz M.L., Morales-Manilla L.M., Jardel-Peláez E., Vega J.A., Jiménez E.** 2015. Development of an operational Fire Danger System for Mexico. In: *Fire Ecology & Management Congress. Advancing Ecology in Fire Management, At San Antonio, Texas, USA.*

**Vega-Nieva D.J., Nava-Miranda M.G., Calleros-Flores E., López-Serrano P. M., Briseño-Reyes J., López-Sánchez C., Corral-Rivas, J.J., Alvarado-Celestino E., González-Cabán A., Cruz I., Ressler, R., Cortes-Montaña C., Pérez-Salicrup D., Jardel-Peláez E., Vega J.A., Jiménez E.** 2016. Temporal patterns of fire density by vegetation type and region in Mexico and its temporal relationships with a monthly satellite fuel greenness index. Submitted to *Fire Ecology* (July 2016).

# **Mecanismos de Coordinación Para el Manejo de Incendios Forestales en el Municipio del Distrito Central, Francisco Morazán, Honduras<sup>1</sup>**

**Carlos R. Velasquez<sup>1</sup>, Sua Gallardo<sup>2</sup>**

## **Resumen**

El bosque del Distrito Central y alrededores se ve afectado en la época seca por los incendios forestales sumándose el ataque que está ocasionando el gorgojo descortezador, por lo que se hace necesario coordinar los esfuerzos interinstitucionales para afrontar este problema.

El Gobierno de los Estados Unidos de América a través de USAID mediante los Programas Internacionales logro traer especialistas del Servicio Forestal para apoyar en el establecimiento y puesta en operación del Centro de Operaciones Interinstitucional de Incendios Forestales (COIIF). El COIIF es el centro de carácter interinstitucional que coordina el esfuerzo para el monitoreo, detección, vigilancia, desplazamiento de recursos para el combate y control de los incendios forestales del municipio del Distrito Central y colindancias.

El COIIF cuenta con un local físico, personal técnico, equipado con equipo de radiocomunicación, líneas telefónicas, Internet, que cuenta con sus propios protocolos de operación y que maneja de manera general la situación actual de los incendios que ocurren en el municipio y colindancias. Tiene como objetivo principal el manejo coordinado a nivel interinstitucional para el control de las situaciones de incendios forestales en el municipio del Distrito Central.

El Centro lo conforman los enlaces institucionales, enlaces de turno institucional y jefes de cuadrilla, capacitados para los protocolos de operación del COIIF y de protocolos de atención a los incendios forestales. Las instituciones participantes de las acciones de control de incendios son: Instituto de Conservación Forestal (ICF), rectora del manejo de los recursos forestales en el país, organismos no gubernamentales, fuerzas armadas, municipalidad y entes estatales diversos. Cuenta además con sistema de vigilancia mediante puestos de observación y cámaras remotas.

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto simposio Internacional sobre Planificación, Políticas, e Incendios Forestales: Servicios Ambientales e Indios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras. Solo el resumen disponible.

<sup>2</sup> Técnicos forestales, Centro de Operaciones Interinstitucional de Incendios Forestales, Instituto de Conservación Forestal ICF, Tegucigalpa, Honduras.

El Centro maneja bitácoras, pizarras, mapas para manejar situaciones de incendios forestales. Controla el despacho, movilización, control, liquidación de los incendios forestales. Además, cuenta con coordinación aérea para control de incendios en áreas prioritarias.

# **Coordinación e Inclusión en la Vigilancia, Prevención y Combate de Incendios Forestales en el Sur del Estado de Puebla<sup>1</sup>**

**Misael García Hernández<sup>2</sup>**

## **Resumen**

La Gerencia Estatal de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en Puebla por medio de las Áreas de Incendios Forestales y Pago por Servicios Ambientales ha instrumentado una estrategia de coordinación e inclusión para la vigilancia y protección contra incendios forestales en la zona Sur del Estado de Puebla, específicamente en la zona del Valle de Tehuacán. Dicha estrategia comprende la coordinación específica entre los diferentes ejidos, comunidades y asesores técnicos de la región mediante recorridos inter ejidales de vigilancia, monitoreo e intercambio de experiencias, además de la activación de 47 Brigadas comunitarias de incendios forestales equipadas y capacitadas, las cuales son manejadas y administradas desde un Centro Intermunicipal de Control de Incendios Forestales.

Los recorridos inter ejidales mencionados se realizan de manera recurrente en diferentes rutas y horarios con el objeto de evitar la cacería, la extracción de especies de flora, la detección de posibles incendios forestales, además de plagas y enfermedades forestales y se visitan casos de éxito (reforestaciones, restauración de suelos, manejo de combustibles, viveros, proyectos ecoturísticos etc.) dentro de los ejidos visitados.

Por medio del programa de Pago por Servicios Ambientales los ejidos y comunidades beneficiados han integrado brigadas comunitarias para el combate de incendios forestales, las cuales constan de diez elementos capacitados, estas brigadas cuentan con equipo menor especializado para el combate de incendios forestales como mochilas aspersoras, batefuegos, Mcleod, Pulaski, etc., además de equipo de protección personal, equipo de radiocomunicación (en su mayoría) y vehículo para su movilización. Con la finalidad de mejorar el funcionamiento y operación de estas brigadas, la CONAFOR otorgo un apoyo a la Asociación Regional de Silvicultores de la zona para el establecimiento de un Centro Intermunicipal de Control de Incendios Forestales (CICIF), el cual funge como centro de mando y administra los recursos humanos en caso algún incendio forestal en la región.

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto simposio Internacional sobre Políticas, Planificación, Economía de Incendios forestales: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras. Solo el resumen disponible.

<sup>2</sup> Representante, Biodiversidad, Medio Ambiente, Suelo y Agua AC, Villaflores, Chiapas, México.

Cabe mencionar que la región que se protege es de alto valor para conservación, ya que cuenta con gran cantidad de biodiversidad y endemismos. Además forma parte de la “Reserva de la Biosfera Tehuacán Cuicatlán”.

# **El Reto del Desarrollo de Capacidades Técnicas de Manejo de Fuego en Latinoamérica<sup>1</sup>**

**Oscar Gerardo Rodríguez Chávez<sup>2</sup>**

## **Resumen**

Se ha observado que comúnmente las instancias, organizaciones, grupos y personas dedicadas al manejo de fuego dejan de lado, no valoran o desestiman la inversión en el capital humano a través del desarrollo de capacidades técnicas, siendo común, la percepción de que es un gasto y este es no reembolsable. Aunado a esta problemática se tiene el continuo cambio del personal experimentado y capacitado, ya sea por cambios de administración, problemas en la gestión - liderazgo y mecanismos de contratación con modalidades eventuales o temporales.

Lo anterior, genera que las estructuras operacionales trabajen, operen y entreguen resultados, más por la voluntad, motivación y convicción, poniendo en riesgo la seguridad del combatiente y muchas veces, no siendo productivos y eficaces en el uso y aplicación de recursos materiales, humanos y financieros y creando un círculo vicioso permanente de operación inicial, repitiendo las primeras etapas de integración, formación de equipos, capacitaciones básicas y experimentación inicial, que no permite o dificulta la profesionalización del combatiente de incendios forestales y técnicos de manejo de fuego.

Existe un reto que requiere la atención desde diferentes aristas con la participación, voluntad y apoyo de personas en todos los niveles de la administración; gestión de programas de manejo de fuego, instancias gubernamentales y de medio ambiente.

¿Qué podemos hacer?, la experiencia de décadas del USAID-USFS puede tomarse como referencia y base con su respectiva adaptación a las condiciones sociales, políticas, económicas y ecológicas de cada país.

Existen procesos, instrumentos, mecanismos de gestión y/o coordinación, como: una Política de Manejo de Fuego en concordancia con leyes, normas y decretos, dará cabida a realizar una planificación estratégica a largo plazo con la emisión una Estrategia de Manejo de Fuego, ésta impulsará la preparación e implementación de programas operativos anuales interinstitucionales. El diseño, acuerdo y operación de un Sistema de Certificación basado en el Sistema de Mando de Incidentes con capacitación, entrenamiento estandarizado y

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación e Economía de Incendios Forestales: Servicios ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras. Solo el resumen disponible.

<sup>2</sup> Consultor de Manejo de Fuego USFS-IP, Granada 211, Fraccionamiento La Moraleja, Zapopan, Jalisco, México. C.P. 45134. Correo electrónico: fireforest@hotmail.com, teléfono móvil: +5213314666025

escalonado acompañado con libros de tareas que acredite la experiencia y pruebas de aptitud física promoverá la seguridad del personal e impulsará la profesionalización de la actividad del combatiente y técnico de manejo de fuego.

# ¿Existen Diferencias Entre la Disposición a Pagar de los Hogares Minoritarios por la Reducción del Riesgo de Incendios en Florida?<sup>1</sup>

Armando González-Cabán<sup>2</sup> y José J. Sánchez<sup>2</sup>

## Resumen

El propósito de este trabajo es estimar la disposición a pagar (DAP) de los propietarios minoritarios (Afroamericanos e Hispanos) en Florida por los programas de reducción de riesgos, públicos y privados, de incendios forestales. Además, probar las diferencias en la respuesta entre los dos grupos. Un modelo logit de parámetro aleatorio y uno de clase latente nos permitieron determinar si existe diferencia en las preferencias del programa de mitigación de incendios forestales y si la DAP es mayor para las acciones públicas o privadas para la reducción del riesgo de incendios forestales, y si los hogares con experiencia personal y que se perciben como habitantes de áreas de alto riesgo tienen DAP significativamente más alta. También comparamos los valores de la DAP de propietarios de viviendas minoritarios en Florida con las estimaciones de los propietarios de viviendas generales de Florida. Los resultados sugieren que los propietarios minoritarios de Florida están dispuestos a invertir en programas públicos, con los valores de DAP de los Afroamericanos duplicando los de los Hispanos. Además, la prioridad más alta para los fondos de costos compartidos se dirigiría a los propietarios de viviendas en áreas en las que perciben que sus casas están en riesgo alto, y especialmente para compartir los costos de acciones privadas en sus propios predios. Estos resultados pueden ayudar a los gerentes de distritos contra incendios a optimizar la asignación de los escasos fondos de costos compartidos para las acciones públicas vs las privadas.

Palabras clave: experimento de elección, *firewise*, modelo de clase latente, modelo logit de parámetro aleatorio, IFU

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Incendios Forestales: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Economista Investigador y Estadístico Investigador, respectivamente, Servicio Forestal del USDA, Pacific Southwest Research Station, Riverside, CA 92507; email: agonzalezcaban@fs.fed.us

## Introducción

En años recientes, los Estados Unidos han visto un aumento en la severidad de los incendios forestales debido a temporadas crecientes de incendios, condiciones más secas y acumulación de combustibles. De 2000 a 2013, los incendios forestales han afectado a más de 37 millones de hectáreas de bosques y matorrales, y las agencias federales de protección contra incendios gastaron casi \$2 mil millones en costos de supresión (Estadísticas de Incendios Forestales del National Interagency Fire Center, 2014). En el año fiscal 2015, los gastos de supresión de incendios por primera vez excedieron el 50% del presupuesto del Servicio Forestal (USFS, por sus siglas en inglés) del USDA.

Los incendios forestales representan una amenaza para muchas comunidades a lo largo del país. Sin embargo, los vecindarios residenciales ubicados en la interfaz forestal-urbana (IFU, que es el área donde se encuentran las casas y la vegetación silvestre subdesarrollada)<sup>3</sup> son propensos a un riesgo mayor de pérdida de vidas y propiedades. Los aumentos en los riesgos de incendios forestales han llevado al USFS y a las agencias estatales/locales a desarrollar programas de costo compartido con comunidades y propietarios de viviendas privados (es decir, programas de comunidades *firewise*). Estos programas proporcionan pagos directos para los esfuerzos de reducción de combustibles en predios públicos y privados que rodean a muchas de estas comunidades. Estos programas, sin embargo, son costosos para los propietarios de viviendas privados y las agencias de manejo del fuego federales/estatales/municipales. Dadas las limitaciones actuales de financiamiento, es importante que el USFS y las agencias estatales conozcan los beneficios de estos programas de reducción del riesgo de incendios.

Se han realizado varios estudios de encuestas con el método de valoración contingente (MVC) en toda la nación sobre cuánto dinero pagarían los hogares a las agencias estatales y municipales por financiar proyectos de reducción de incendios forestales. Por ejemplo, Loomis y González-Cabán (2010) encuestaron hogares en California, Florida y Montana, y encontraron que la disposición a pagar (DAP) promedio por hogar para la quema prescrita fue de \$460, \$392 y \$323, respectivamente. También encontraron que la DAP promedio, por hogar, por la reducción mecánica de combustibles fue de \$510, \$239 y \$189. Walker et al. (2007) utilizaron el MVC para comparar la DAP de los residentes de la IFU en Colorado por la quema prescrita *versus* el raleo. Ellos encontraron que para los condados de Boulder y Larimer, la DAP de los residentes de la IFU fue mayor por un programa de raleo (\$443 y \$311, respectivamente) que por la quema prescrita (\$202 y \$150, respectivamente). Más recientemente, Sánchez et al. (en revisión) utilizaron una

---

<sup>3</sup> Para una definición más completa de la IFU véase Radeloff et al. (2005).

encuesta de experimento de elección para determinar las preferencias y la DAP por programas públicos y privados de mitigación de incendios forestales de los propietarios de viviendas de CA. Los autores encontraron que los propietarios de CA que se percibían como habitantes de una comunidad de riesgo alto, tienen una DAP por un programa público de diez años de \$1265 y \$1733 por un programa privado de diez años.

Sin embargo, pocos estudios han estudiado la DAP de los hogares minoritarios por proyectos de tratamiento de combustibles. Un estudio de Loomis et al. (2009) utiliza el cuestionario de encuesta de votantes para comparar entre las DAP por la quema prescrita y los programas de reducción mecánica de combustibles de los hogares Blancos e Hispanos a lo largo de California, Florida y Montana. Mediante agrupar los datos de los tres estados al interior de un modelo para cada programa de reducción de combustibles, los autores encontraron que los beneficios marginales por el tratamiento de quema prescrita (mecánico) de combustibles para 1 millón de hogares Blancos son de \$2,578 (\$3,376) por acre, mientras que los beneficios marginales para 1 millón de hogares Hispanos sería más alto, \$10.121 (\$31.279).

En un estudio reciente de Holmes et al. (2013) de las preferencias de los propietarios de viviendas de Florida y de su DAP por programas de protección contra incendios forestales, menos de 10% de los participantes en la encuesta eran minorías (Afroamericanos e Hispanos). Sin embargo, 28.9% de la población de Florida es de ascendencia Hispana y Afroamericana (Censo de los EE.UU., 2015). Por lo tanto, sus resultados se basan en un segmento parcial de la población de Florida y los resultados pueden no ser representativos de todo el estado. Este estudio va más allá del de Holmes et al. (2013) mediante centrarse en la población minoritaria faltante. El incremento significativo en la población de las minorías de FL de 2010 a 2015 destaca la importancia de incorporar estas poblaciones al considerar la DAP de los hogares para la evaluación de programas de reducción de tratamiento de combustibles. En el período de 2010 a 2015 la población Afroamericana en el estado incrementó 11.7%, de 3,008,740 a 3,405,574. Para el mismo período, la población Hispana incrementó 14.8%, pasando de 4,231,037 a 4,966,462. Y aunque la población de blancos aumentó 2.95% para el período, su porcentaje de la población total del estado disminuyó de 57.9% a 55.3%. Esta investigación es útil para entender los factores que influyen en las decisiones de las minorías sobre si acaso, y cuánto, invertir en programas de mitigación del riesgo de incendios forestales, y si responden de manera diferente a estos programas. La investigación también podría ayudar a los gerentes de distritos contra incendios a identificar obstáculos para la implementación de programas y políticas eficientes de mitigación de incendios

Este estudio contribuye a la literatura mediante la implementación de un experimento de elección para comprender la compensación que los hogares minoritarios (Afroamericanos e Hispanos) están dispuestos a hacer entre los programas de mitigación de incendios. Utilizamos la misma encuesta de experimento de elección que Holmes et al. (2013) para estimar la DAP por programas privados y públicos de reducción de riesgo de incendios forestales de los propietarios de viviendas minoritarias en Florida. Valuamos dos programas de reducción de riesgo de incendios: (1) un Programa Público llevado a cabo por gerentes públicos de distrito contra incendio que involucra la quema prescrita, el tratamiento mecánico y el tratamiento herbicida de los bosques que rodean inmediatamente sus vecindarios; y (2) un Programa Privado que modifica la vegetación que rodea al hogar, tal como reducir la vegetación alta (más de 3 pies de alto) dentro de los 30 pies de distancia de su casa<sup>4</sup>. Un modelo logit de parámetro aleatorio y uno de clase latente permitieron determinar si la DAP de las minorías es mayor por las acciones públicas o privadas para la reducción de riesgo de incendios forestales, y si los hogares con experiencia personal y percibiéndose como habitantes de zonas de mayor riesgo tienen DAP significativamente mayor. Podremos evaluar las preferencias de los residentes por los programas de mitigación de incendios forestales y explorar la heterogeneidad de esas preferencias. Además, se condujeron análisis para determinar si los hogares Afroamericanos e Hispanos responden de manera diferente a la DAP por programas de mitigación de incendios forestales.

El artículo se desarrolla de la siguiente manera: primero introducimos el método de experimento de elección, la especificación de los modelos logit de parámetro aleatorio y de clase latente, seguida por la presentación del diseño de la encuesta de experimento de elección. A continuación, se describen los datos y se presentan los resultados econométricos. En la sección final presentamos nuestras conclusiones.

## **Modelos Econométricos de las Respuestas del Experimento de Elección**

Los modelos de elección describen las elecciones de los individuos de entre las alternativas (Train 2009). El método de experimento de elección (EE) ha sido ampliamente utilizado en la literatura de marketing y transporte para analizar la elección del consumidor de productos, modos de viaje y otros artículos (Adamowicz et al., 1998). Este método también puede estimar los valores económicos (DAP de un individuo) por un conjunto de atributos de bienes y/o servicios ambientales (Boxall et al., 1996).

---

<sup>4</sup> Véase [www.firewise.org](http://www.firewise.org) para más información sobre el Programa Privado.

El método EE proporciona información más detallada acerca de la preferencia del público sobre bienes y servicios ambientales. La encuesta presentada a los encuestados incluye escenarios hipotéticos que describen problemas específicos junto con la descripción de los atributos. A los individuos se les proporcionan conjuntos de opciones, cada uno de los cuales usualmente consta de 3 alternativas (1 debe ser el *statu quo* o la opción de no hacer nada) para evaluar. Los individuos deben seleccionar la alternativa del conjunto de opciones que mejor refleje su preferencia. Los administradores de recursos y los formuladores de políticas pueden utilizar esta información añadida (los atributos preferidos de los individuos) para respaldar las decisiones sobre bienes y/o servicios ambientales.

El método EE está basado en la teoría de la utilidad aleatoria y la teoría de la utilidad aleatoria utiliza el principio de maximización de la utilidad. Los modelos de utilidad aleatoria (MUA) describen opciones discretas en los marcos de la maximización de utilidades. Se asume que los individuos seleccionan un bien que proporciona la mayor utilidad entre las que tienen disponibles (Champ et al., 2003).

El MUA asume que la utilidad es la suma de componentes deterministas ( $v_{ni}$ ) y estocásticos ( $\varepsilon_{ni}$ ):

$$(1) \quad U_{ni} = V_{ni} + \varepsilon_i \equiv \sum_{k=1}^K \beta_{nk} x_{nik} + \varepsilon_{ni},$$

donde  $U_{ni}$  es la utilidad no observada asociada al individuo  $n$  después de seleccionar el atributo  $i$ ,  $x_{nik}$  es el vector de  $K$  atributos para la alternativa  $i$  y el individuo  $n$ ,  $\beta_{nk}$  es el vector de los parámetros de preferencia, y  $\varepsilon_i$  es el término de error aleatorio. Los modelos Logit suponen que el término de error está distribuido independientemente e idénticamente (dii). Dependiendo de la suposición hecha respecto del término de error, se pueden derivar diferentes modelos probabilísticos de elección (Champ et al., 2003). Podemos establecer la probabilidad de que el individuo  $n$  elija la alternativa  $i$  del conjunto  $\Theta$  como<sup>5</sup>:

$$(2) \quad P_n(i) = \frac{\exp(\mu\beta x_{ni})}{\sum_{i \in \Theta} \exp(\mu\beta x_{ni})}$$

donde  $\mu$  es un parámetro escala que normalmente se establece como igual a uno.<sup>6</sup>

El modelo Logit de Parámetro Aleatorio (LPA) a menudo llamado modelos Logit Mixto es una generalización del modelo MNL, y permite la variación aleatoria en las preferencias, los patrones de sustitución no restringidos, y las correlaciones entre factores no observados (Train 2009). Utilizando el modelo LPA podemos

<sup>5</sup> Esta sección se basa en trabajo no publicado provisto por José J. Sánchez.

<sup>6</sup> En todos los modelos econométricos que presentamos, el parámetro escala es confundido con los parámetros  $\beta$  de interés, y por lo tanto asumimos que su valor es la unidad. En un solo conjunto de datos, el parámetro escala no puede ser recuperado.

relajar la suposición de independencia de las alternativas irrelevantes mediante introducir componentes estocásticos adicionales a la función de utilidad a través de  $\beta_n$ .

Utilizamos 500 selecciones de Halton de la distribución normal para estimar  $\Gamma$  para los parámetros aleatorios en el modelo LPA. El modelo LPA captura la heterogeneidad a través de una distribución de probabilidad continua para los parámetros de preferencia. Para más información sobre el modelo MIXL, se recomienda a los lectores consultar a Train (2009).

Un modelo de clase latente (MCL) fue utilizado para capturar la heterogeneidad de la preferencia para un número finito de clases de heterogeneidad (Boxall y Adamowicz 2002; Scarpa y Thiene 2005). El MCL asume la existencia de  $C$  clases (o grupos) en una población con el individuo  $n$  perteneciendo a la clase  $c$ . Se asume que los individuos dentro de una clase tienen preferencias homogéneas. El parámetro de utilidad específico para cada clase y las probabilidades de elección para la alternativa  $i$  para cada clase son:

$$(3) \quad \pi_{n|c}(i) = \frac{\exp(\mu_c \beta_c X_{ni})}{\sum_{k \in C} \exp(\mu_c \beta_c X_{nk})}$$

donde  $C$  es el conjunto de todas las clases. Se asume, generalmente, que la probabilidad de que un individuo  $n$  pertenezca a la clase  $c$  es logística:

$$(4) \quad \pi_{nc} = \frac{\exp(\alpha \gamma_c Z_n)}{\sum_{c=1}^C \exp(\alpha \gamma_c Z_n)}$$

Donde  $\alpha$  es un parámetro escala (establecido como igual a uno),  $\gamma_c$  son coeficientes específicos relacionados con la clase, y  $Z$  es un vector de las características socio-demográficas del individuo y otras características individuales. La probabilidad conjunta de que un individuo  $n$  pertenezca a la clase  $c$  y seleccione la alternativa  $i$  puede escribirse como el producto de las ecuaciones 3 y 4:

$$(5) \quad \pi_n(i) = \sum_{c=1}^C \pi_{nc} \pi_{ni|c}$$

Las estimaciones de los parámetros se calculan mediante maximizar la función log de verosimilitud ( $\ln V$ ):

$$(6) \quad \ln V = \sum_{j=1}^J \ln \left[ \sum_{c=1}^C \pi_{nc} \left( \prod_{i=1}^I (\pi_{ni|c})^{y_{ni}} \right) \right]$$

Este modelo especifica que la elección de una alternativa está basada en los atributos y las características de los encuestados.

En un experimento de elección, los precios implícitos (estimaciones marginales de la DAP) de los atributos se miden por el coeficiente del parámetro dividido entre el valor absoluto del coeficiente de costo.

$$(7) \quad DAPM = \frac{\beta_{\text{tipo de programa}}}{|\beta_{\text{costo}}|}$$

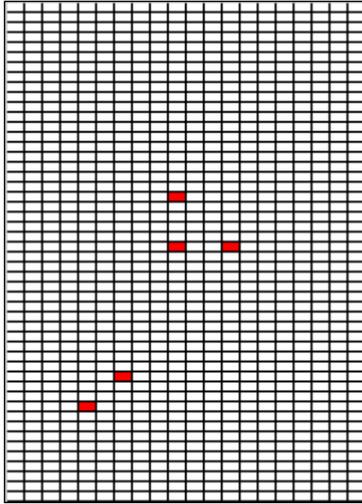
La DAP promedio de una sola ocasión por un programa público y privado de diez años puede ser derivada (cuadro 4) utilizando esta fórmula, el programa de mitigación de peligro de incendio forestal y las estimaciones de los parámetros de costos de los cuadros 2 y 3.

### **Diseño de la Encuesta de Experimento de Elección**

Utilizamos la misma encuesta que Holmes et al. (2013) y estuvo disponible tanto en inglés como en español. La encuesta comenzó con varias preguntas que pidieron a los encuestados que respondieran preguntas sobre la vegetación alrededor de su hogar. Estas preguntas fueron seguidas por una caracterización de lo que ciertas respuestas significaban para el riesgo de incendios forestales en su vecindario, y el riesgo de perder sus casas a causa de un incendio forestal. Utilizando estadísticas de incendios de Florida, el riesgo real de incendios forestales fue caracterizado utilizando una escalera de riesgo y una cuadrícula de probabilidad de riesgo. La probabilidad de que una casa fuese dañada por un incendio forestal, está representada en la cuadrícula de probabilidad por el número de cuadros rojos en una cuadrícula de 1.000 celdas cuadradas. Los cuadros blancos restantes (figura 1) representan el riesgo de que la casa no fuese dañada. Una escalera de riesgo (figura 2) fue presentada a los encuestados como una manera de transmitir el riesgo relativo de que un incendio forestal dañe un hogar en relación con otros riesgos cotidianos (como tener un ataque al corazón para una persona mayor de 35 años de edad). Ambos instrumentos de comunicación de riesgos se han utilizado en encuestas anteriores como una forma de transmitir a los encuestados los riesgos relativos y absolutos (Smith y Desvousges, 1987; Loomis y duVair, 1993. Krupnick et al., 2002)

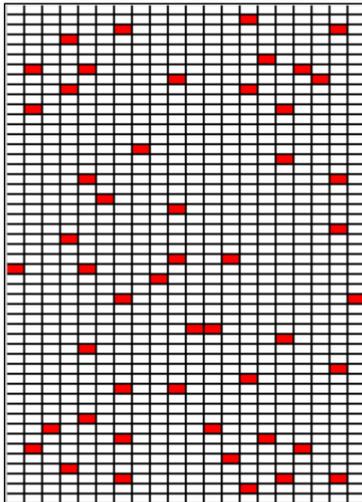
## CUADRÍCULAS DE PROBABILIDAD

### (1) CUADRÍCULA DE PROBABILIDAD SUPERIOR: Probabilidad anual



Otra manera de ilustrar la Probabilidad Promedio Anual de que un incendio forestal dañe su casa se muestra en el diagrama de la izquierda. La "cuadrícula de probabilidad" muestra un vecindario con 1000 casas, y cada cuadrado representa a una casa. Los cuadros blancos son casas que no han sido dañadas o destruidas por incendios forestales, y los cuadros rojos son casas que han sido dañadas o destruidas. Considere esto como un evento típico, o promedio, cada año para este vecindario. Para tener una idea de este nivel de probabilidad, cierre sus ojos y coloque la punta de un bolígrafo dentro de la cuadrícula. Si toca un cuadro rojo, esto significaría que su casa fue dañada o destruida por un incendio forestal.

### (2) CUADRÍCULA DE PROBABILIDAD INFERIOR: Probabilidad de diez años



La probabilidad de que su casa sea dañada por incendios forestales durante un **período de diez años** es aproximadamente 10 veces la probabilidad de que fuese dañada o destruida en un solo año. La Probabilidad Promedio de Diez Años se muestra para el mismo vecindario en un período de diez años, donde los cuadros rojos representan casas que han sido dañadas o destruidas durante un período de diez años y los cuadros blancos son casas que no han sido dañadas o destruidas.

Figura 1. Cuadrículas de riesgo para transmitir el grado relevante de riesgo de incendios forestales a los propietarios de viviendas participantes en la encuesta (utilizadas con el permiso de Holmes et al., 2013).

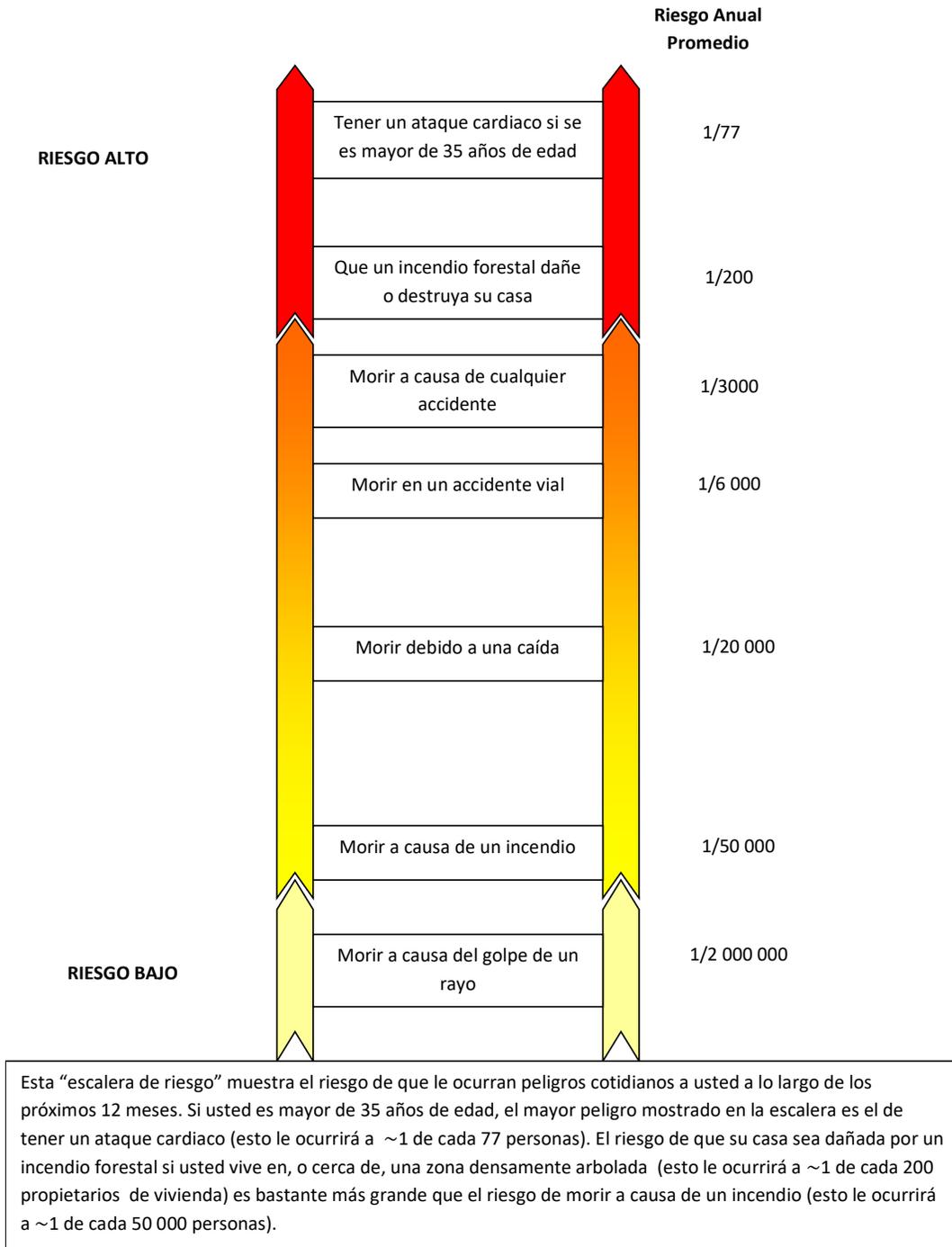


Figura 2. Escalera de riesgo para ilustrar a los participantes de la encuesta el riesgo de incendios forestales en relación con otros eventos cotidianos ordinarios (utilizado con el permiso de Holmes et al., 2013).

Para construir los conjuntos de elección la encuesta implementó un diseño experimental factorial completamente al azar (ver Holmes et al., 2013). El experimento de elección utilizó cuatro atributos de la encuesta: (1) *riesgo (%)* o

probabilidad (de 1,000) de que su casa sea dañada por incendios forestales en los próximos 10 años; este *riesgo* varió en cinco niveles, de 1 a 5%, donde 5% fue el riesgo base que se dijo a los encuestados que estaba asociado con la nula inversión en programas protección contra incendios forestales;<sup>7</sup> (2) daño monetario (*pérdida*) a la propiedad a causa de incendios forestales; la *pérdida* varió en 10 niveles que oscilaron entre \$10,000 y \$100,000; (3) pérdida esperada de 10 años = probabilidad x daño; el atributo # 3 no es un atributo independiente y fue incluido solamente para facilitar la comprensión de cómo interactuaban los riesgos y los daños para resultar en un "valor esperado" de los daños; y (4) *costo* de única ocasión para el hogar por el programa de diez años que varió en 10 niveles, de \$25 a \$1,500, por el Programa Público y 9 niveles, de \$50 a \$1,500, por el Programa Privado.

Un ejemplo de una pregunta de elección utilizada en el cuestionario se muestra en la figura 3. Se ofrecieron tres alternativas en cada conjunto de opciones. Las dos primeras alternativas representaron programas públicos y privados de mitigación de riesgo de incendios. Cada programa alternativo incluyó la probabilidad de daño a la casa del entrevistado, la cantidad monetaria del daño, la pérdida esperada (probabilidad x daño) y un costo de única ocasión por implementar el programa de diez años seleccionado. Además, se incluyó una alternativa *statu quo* sin costo, lo que representa la situación real típica. Esta alternativa *statu quo* se proporcionó para cada escenario de elección. Una serie de tres preguntas de elección fueron preguntadas a cada encuestado, induciendo la naturaleza de panel de los datos de las respuestas.

---

<sup>7</sup> Utilizamos *cursivas* para denotar las variables utilizadas en el análisis empírico.

|   | Alternativa 1                   | Alternativa 2                   | Alternativa 3            |
|---|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
|   | Prevención Pública de Incendios | Prevención Privada de Incendios | No hacer nada adicional  |
| Probabilidad de que su casa sea dañada en los próximos 10 años    | 10 en 1,000 (1%)                | 25 en 1,000 (2.5%)              | 50 en 1,000 (5%)         |
| Daño a la propiedad   | \$10,000                        | \$50,000                        | \$100,000                |
| Pérdida esperada de 10 años = Probabilidad x daño                 | \$100 durante 10 años           | \$1,250 durante 10 años         | \$5,000 durante 10 años  |
| Costo de una sola ocasión para usted por el programa de diez años | \$100                           | \$500                           | \$0                      |
| Yo elegiría:<br>Por favor seleccione una casilla                  | <input type="checkbox"/>        | <input type="checkbox"/>        | <input type="checkbox"/> |

Figura 3. Ejemplo del conjunto de elección

## Datos

Una muestra aleatoria estratificada de hogares fue seleccionada de la población de hogares Afroamericanos e Hispanos en Florida. La suposición para la muestra estratificada se debió a que pensamos que las personas que viven en áreas que tienen un riesgo más alto de daños por incendios forestales estarían más conscientes y más preocupados acerca de los programas de mitigación de incendios forestales; desarrollamos un esquema de ponderación en el que, para cada hogar muestreado de comunidades de riesgo bajo (de acuerdo con lo definido por la Agencia de Manejo del Fuego del Estado de Florida), dos hogares de comunidades de riesgo medio y tres hogares de comunidades de riesgo alto fueron muestreados. Los hogares fueron reclutados utilizando el mercado telefónico aleatorio, y la información básica fue registrada durante la llamada telefónica inicial, así como la identificación de si se trataba de hogares Afroamericanos o Hispanos. Para las entrevistas, utilizamos entrevistadores Afroamericanos para entrevistar a los encuestados Afroamericanos y entrevistadores Hispanoparlantes para entrevistar a entrevistados Hispanos. Posteriormente, a los hogares que estaban dispuestos a participar en la encuesta les fueron enviados por correo cuadernillos de encuesta. Dos semanas después de enviar el cuadernillo, se envió una tarjeta postal recordatorio a los hogares. De los 500

sujetos reclutados para la participación, 319 completaron la entrevista para una tasa de respuesta efectiva de 63.8%.

## Resultados

El Cuadro 1 muestra las estadísticas descriptivas de las variables en nuestra muestra de la encuesta y los datos de los propietarios de viviendas generales de FL del estudio de Holmes et al. (2013). También probamos si existía alguna diferencia entre las variables para ambos estados. La muestra se compuso de 63% de Afroamericanos y 37% de Hispanos. La muestra estratificada incluyó una proporción sustancial de encuestados con experiencia personal del efecto de incendios forestales (31%). 12% de los encuestados informaron sobre el efecto en la salud a causa del humo producido por incendios forestales, y 27% informaron que habían modificado los planes de viaje debido a incendios forestales. Dado que 28% de nuestra muestra proviene de comunidades identificadas como de riesgo alto de incendio forestal, es sorprendente que sólo ~5% de los encuestados informaron que vivían en un área que percibían como de *riesgo alto* de incendio forestal. Es posible que la razón de esto sea que la mayoría de los encuestados que se perciben como habitantes de una comunidad de riesgo alto sean hogares de bajos ingresos (79% tienen menos de \$38,000 de ingreso anual familiar). Aproximadamente 72% (*firewise*) de los encuestados indicaron que mejoraron previamente el espacio defendible en su propiedad (cortar las ramas inferiores de los árboles = 58%, retirar las enredaderas de los árboles = 50%, quitar las ramas de sobre el hogar = 53%, retirar árboles y plantas inflamables = 36%).

En este artículo nos centramos en el modelo LPA para comparar las preferencias por programas de mitigación de incendios de propietarios de hogares Afroamericanos e Hispanos, y el modelo de CL para comparar las estimaciones de DAP de los propietarios de viviendas minoritarias de FL con los datos de los propietarios de viviendas generales (Holmes et al., 2013).

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de las variables

| Variable  | Descripción   | Media (D.E.)      | Media (D.E.) <sup>8</sup> |
|---|---|-------------------|---------------------------|
| salud (variable categórica)                             | Daños a la salud del encuestado o de algún miembro de la familia a causa de haber inhalado humo de un incendio forestal; si Sí = 1; de otra forma = 0 | 0.12<br>(0.33)    | 0.15<br>(0.35)            |
| Viaje <sup>a</sup> (variable categórica)                | Los planes familiares de viaje cambiaron debido a un incendio forestal; si Sí = 1; de otra forma = 0  | 0.27<br>(0.44)    | 0.35<br>(0.48)            |
| experiencia personal <sup>a</sup> (variable categórica) | Si cualquiera (salud = 1 o viaje = 1) = 1; de otra forma = 0  | 0.31<br>(0.46)    | 0.43<br>(0.50)            |
| <i>firewise</i> (variable categórica)                   | El hogar realizó al menos una actividad para reducir el riesgo de incendio forestal; si Sí = 1; de otra forma = 0                                     | 0.72<br>(0.45)    | 0.76<br>(0.43)            |
| riesgo alto <sup>a</sup> (variable categórica)          | El encuestado respondió que el hogar está ubicado en un vecindario de riesgo alto de incendio; si Sí = 1; de otra forma = 0                           | 0.05<br>(0.22)    | 0.10<br>(0.30)            |
| Hispano <sup>a</sup> (variable categórica)              | El encuestado respondió ser Hispano o Latino; si Sí = 1; de otra forma = 0  | 0.37<br>(0.48)    | 0.02<br>(0.13)            |
| Edad <sup>a</sup>                                       | Edad del encuestado   | 54.4<br>(17.01)   | 58.1<br>(15.15)           |
| Ingreso <sup>b</sup>                                    | Ingreso anual del hogar   | 48,317<br>(43394) | 63,410<br>(47786)         |
| Nivel de escolaridad <sup>b</sup>                       | Nivel más alto de escolaridad completado del encuestado   | 14.2<br>(2.47)    | 14.7<br>(2.51)            |

a. Los valores proporcionales promedio son significativamente diferentes entre FL y CA al nivel alfa <.01.

b. Los valores promedio son significativamente diferentes entre FL y CA al nivel alfa <.01.

El Cuadro 2 muestra los resultados del modelo LPA para los propietarios de viviendas minoritarios de FL. El coeficiente del costo tiene el signo negativo esperado y es altamente significativo. Además, el coeficiente de la interacción de la

<sup>8</sup> Datos de los propietarios de viviendas generales de FL del estudio de Holmes et al. (2013).

variable categórica Hispano y el costo es estadísticamente significativa al nivel de .10. Los resultados sugieren que los propietarios de vivienda minoritarios de FL que se perciben como habitantes de una comunidad de riesgo alto son reacios a cualquier tipo de programa de mitigación de incendios y prefieren la alternativa *statu quo* (no hacer nada). Sin embargo, los propietarios de viviendas que se perciben como habitantes de una comunidad de riesgo bajo a moderado prefieren el programa público. Utilizando el coeficiente del programa público y costo, la DAP marginal de los propietarios de viviendas Afroamericanos es de \$1,376, mientras que la DAP marginal de los propietarios de viviendas Hispanos es menor (\$639). Sin embargo, las estimaciones de DAP no son significativamente diferentes estadísticamente entre sí. Estos resultados sugieren que los propietarios de viviendas minoritarios están dispuestos a invertir en programas de mitigación de incendios; sin embargo, los Hispanos están dispuestos a invertir sólo la mitad de la cantidad que los Afroamericanos.

Cuadro 2. Estimaciones de los parámetros de preferencia del modelo logit de parámetro aleatorio por programas de mitigación de riesgos de incendio forestal con parámetros aleatorios estimados para las variables riesgo y pérdida (La variable dependiente es la alternativa seleccionada en las preguntas de elección).

| Variable                           | Modelo Logit de Parámetro Aleatorio<br>media | D.E.                  |
|------------------------------------|--|-----------------------|
| <i>riesgo (%)</i>                  | -0.0702<br>(0.6566)                          | 0.6926***<br>(0.0973) |
| <i>pérdida (\$1,000)</i>           | 0.0034<br>(0.0038)                           | 0.0426***<br>(0.0052) |
| <i>costo (\$)</i>                  | -0.0004***<br>(0.0002)                       | --                    |
| <i>Categórica Hispano *costo</i>   | -0.0005*<br>(0.0003)                         | --                    |
| <i>programa público</i>            | 0.6094***<br>(0.2350)                        | --                    |
| <i>pro. público *riesgo alto</i>   | -0.6122<br>(0.5963)                          | --                    |
| <i>programa privado</i>            | 0.2219<br>(0.2412)                           | --                    |
| <i>pro. privado *riesgo alto</i>   | -0.3342<br>(0.6939)                          | --                    |
| <i>Categórica Hispano *público</i> | 0.4947<br>(0.3259)                           | --                    |
| <i>Categórica Hispano *privado</i> | 0.1838<br>(0.3406)                           | --                    |
| N                                  | 319  | --                    |
| R <sup>2</sup> de McFadden         | 0.1334                                       | --                    |
| Log de Verosimilitud               | -911.16                                      | --                    |

Nota: los errores estándar están entre paréntesis. El símbolo \* indica significancia al nivel 0.10, el símbolo \*\*\* indica significancia al nivel 0.01.

Para el modelo de CL, los resultados más claros se obtuvieron para el modelo de 2 clases. En el modelo de dos clases (cuadro 3), los resultados muestran que alrededor de 36% de los encuestados fueron clasificados en la Clase 1 (Grupo de Menos Experiencia) y 64% en la Clase 2 (Grupo de Más Experiencia). La estimación del parámetro de la Clase 1 sobre el riesgo no es significativamente diferente de cero, mientras que la pérdida es significativa, lo que sugiere que los encuestados centran su atención en las pérdidas. Además, el signo negativo y el coeficiente estadísticamente significativo para los programas públicos y privados de mitigación sugieren que estos encuestados que se perciben como habitantes de una comunidad de riesgo bajo a moderado son, generalmente, reacios a este tipo de programas de mitigación y necesitarán ser compensados para participar. Sorprendentemente, aquellos propietarios de viviendas que se perciben como habitantes de una comunidad de riesgo alto, prefieren la alternativa *statu quo* (no hacer nada). Por el contrario, los encuestados de la Clase 2 que se perciben como habitantes de comunidades de riesgo bajo a moderado tienen una DAP positiva para reducir el riesgo de experimentar una pérdida financiera a causa de incendios forestales. Y también tienen una mayor propensión a apoyar programas públicos y privados de mitigación como lo sugieren los coeficientes positivos y estadísticamente significativos. Los encuestados que viven en una zona de riesgo bajo y moderado tienen una DAP positiva por programas de 10 años públicos (\$5,610) y privados (\$4,757).

Sorprendentemente, los encuestados de la Clase 2 que se perciben como habitantes de una comunidad de riesgo alto tienen un signo negativo de DAP tanto para el programa público como para el privado; lo que implica que tendrían que ser compensados (Disposición a aceptar - DAA) para participar en el programa público (\$405 anualmente) y en el programa privado (\$359 anualmente). Una explicación razonable de estos hallazgos es que la mayoría de los encuestados que se perciben como habitantes de una comunidad de riesgo alto son hogares de bajos ingresos (79% cuentan con menos de \$38,000 de ingresos anuales familiares). Esto significa que estos hogares no disponen de suficiente ingreso disponible para cubrir los gastos adicionales de los programas de mitigación de incendios. Además, 79% de los hogares que se perciben como habitantes de una comunidad de riesgo alto indicaron que tienen protección de seguros contra incendios, y 63% habían mejorado previamente el espacio defendible en su propiedad. Por lo tanto, pueden tener la impresión de que no se necesita protección adicional.

Cuadro 3. Estimaciones del modelo de clase latente de los parámetros de preferencia de los propietarios de viviendas por los programas de mitigación de riesgo de incendio forestal entre los encuestados.

| Variable  | Modelo de dos clases   |                        | Modelo de dos clases (Holmes et al., 2013) <sup>9</sup> |                        |
|---|------------------------|------------------------|---|------------------------|
|   | Clase 1                | Clase 2                | Clase 1   | Clase 2                |
| <i>riesgo (%)</i>   | 0.0994<br>(0.1070)     | -0.1168***<br>(0.0428) | 0.0003<br>(0.0877)                                      | -0.1135***<br>(0.0263) |
| <i>pérdida (\$1,000)</i>  | 0.0149**<br>(0.0067)   | -0.0052**<br>(0.0022)  | -0.0087*<br>(0.0045)                                    | -0.0041***<br>(0.0013) |
| <i>costo (\$)</i>   | -0.0016***<br>(0.0005) | -0.0005***<br>(0.0001) | -0.0027***<br>(0.3687)                                  | -0.0007***<br>(0.0001) |
| <i>pro. público</i>   | -1.042**<br>(0.4352)   | 2.5774***<br>(0.3042)  | -2.401***<br>(0.3687)                                   | 2.1532***<br>(0.1682)  |
| <i>pro. público*</i>  | 0.4161<br>(1.0517)     | -1.8601**<br>(0.8304)  | 1.6074***<br>(0.4304)                                   | 0.8749<br>(0.5535)     |
| <i>riesgo alto</i>  | -1.4469***<br>(0.4743) | 2.1853***<br>(0.3073)  | -2.5368***<br>(0.3998)                                  | 1.8902***<br>(0.1708)  |
| <i>programa privado</i>   | 1.424<br>(0.9354)      | -1.6508*<br>(0.8714)   | -0.601<br>(1.0937)                                      | 1.1748**<br>(0.561)    |
| Covariables explicando la pertenencia a la clase latente <sup>a</sup> |                        |                        |   |                        |
| <i>constante</i>  | -0.4100***<br>(0.1511) | --                     | -0.2594***<br>(0.0958)                                  |                        |
| <i>experiencia personal</i>   | -0.5426*<br>(0.2823)   | --                     | -0.5871***<br>(0.1457)                                  |                        |
| probabilidad promedio de la clase                                     | 0.36                   | 0.64                   | 0.38  | 0.62                   |
| n   | 319                    |                        | 922   |                        |
| R <sup>2</sup> de McFadden  | 0.227                  |                        | 0.243   |                        |

Nota: los errores estándar están entre paréntesis. El símbolo \* indica significancia al nivel 0.10, el símbolo \*\* indica significancia al nivel 0.05, el símbolo \*\*\* indica significancia al nivel 0.01.

<sup>a</sup> En el modelo de dos clases, la Clase 2 es la referencia.

La comparación de los resultados (cuadro 3) con los propietarios de viviendas generales de FL (Holmes et al., 2013) muestra que, en general, ambos estudios tienen los mismos coeficientes significativos. En ambos estudios, los propietarios de viviendas de la Clase 1 que se perciben como habitantes de una comunidad de riesgo bajo a moderado generalmente se opusieron a este tipo de programas de mitigación de incendios y necesitarán ser compensados para participar. Para la Clase 2, los propietarios que se perciben como habitantes de comunidades de riesgo bajo a moderado están a favor de participar en ambos programas de mitigación de incendios. Sin embargo, existen diferencias al comparar los hogares que se perciben como habitantes de una comunidad de riesgo alto. Los resultados de los datos generales de FL (Holmes et al., 2013) muestran que los hogares de ambas clases prefieren ya sea el *statu quo*, o uno de los programas de mitigación de incendios. Este no es el caso de los hogares minoritarios de la clase 2. Estos hogares tienen

<sup>9</sup> Datos utilizados de Holmes et al. (2013). Modelo estimado sin interacciones de programa público y espacio defendible para hacer comparaciones.

coeficientes negativos, lo que significa que generalmente se oponen a este tipo de programas de mitigación de incendios y necesitarán ser compensados para participar.

El Cuadro 4 muestra las estimaciones de DAP o DAA de una sola ocasión (valores negativos en el cuadro) por un programa de 10 años para ambos conjuntos de datos. Para los propietarios de viviendas minoritarias de FL en el grupo de Menos Experiencia, la estimación de DAA de única ocasión por los programas, tanto públicos como privados, es siempre menor que las estimaciones de los propietarios de vivienda generales de FL. Sin embargo, el amplio intervalo de confianza sugiere que las cantidades promedio de DAP no son significativamente diferentes entre los dos estudios. Para los propietarios de viviendas en el grupo de más experiencia, las estimaciones de la DAP de una sola ocasión son más altas para ambos programas para las minorías de FL que para los propietarios de viviendas generales de FL. Sin embargo, no son significativamente diferentes estadísticamente entre los estudios. Los propietarios de viviendas de FL que se perciben como habitantes de una comunidad de riesgo alto tienen una DAA, mientras que los propietarios de viviendas generales de FL tienen una cantidad de DAP.

Cuadro 4. DAP/DAA de una sola ocasión, por propietario de vivienda, por acciones de diez años públicas y privadas de reducción de riesgo de incendios forestales (dólares de 2009).

|                                 | Propietarios de viviendas                                      |                   |  |                  |
|---------------------------------|--|-------------------|--|------------------|
|                                 | DAP/DAA Promedio de Percepción de Riesgo Bajo a Medio Programa |                   | DAP/DAA promedio de Percepción de Riesgo Alto Programa |                  |
|                                 | Público  | Privado           | Público  | Privado          |
|                                 | ----- (Intervalo de confianza de 95% <sup>b</sup> ) -----      |                   |  |                  |
| Propietarios minoritarios de FL | -\$640   | -\$889            | -  | -                |
| Menos experiencia               | (-\$1419, \$139)   | (-\$1815, \$37)   | -  | -                |
| Propietarios minoritarios de FL | \$5610   | \$4757            | -\$4049  | -\$3593          |
| Más Experiencia                 | (\$2764, \$8456)   | (\$2288, \$7226)  | (-\$8078, -\$20)                                       | (-\$7699, \$512) |
| Propietarios de FL <sup>a</sup> | -\$942   | -\$995            | \$630  | -                |
| Menos experiencia               | (-\$1528, -\$354)  | (-\$1637, -\$352) | (\$195, \$1065)  | -                |
| Propietarios de FL <sup>a</sup> | \$3387   | \$2973            | -  | \$1848           |
| Más Experiencia                 | (\$2615, \$4160)   | (\$2258, \$3688)  | -  | (\$64, \$3633)   |

a. Las estimaciones de DAP/DAA fueron convertidas de dólares de 2006 a 2009 utilizando el IPC (Oficina de Estadísticas Laborales de los EE.UU., 2016).

b. El método Delta fue utilizado para construir los intervalos de confianza.

## Conclusiones

Tanto los modelos LPA como los de CL utilizados para el análisis revelaron algunos hallazgos interesantes. Usando el modelo LPA, los resultados sugieren que los propietarios de viviendas minoritarios están dispuestos a invertir solamente en un programa público de la mitigación de incendios forestales. Además, encontramos que los Afroamericanos tienen una estimación de DAP más alta por el programa público que los Hispanos. Para el modelo de CL, los encuestados del grupo de Menos Experiencia con exposición a incendios forestales prefirieron la alternativa no hacer nada y los encuestados en el grupo Más Experiencia con exposición a incendios forestales que se percibieron como habitantes en riesgo de incendio bajo a medio, expresaron su apoyo tanto para el programa público como para el programa de protección contra incendios forestales. Sin embargo, nos sorprendió encontrar que los encuestados que se clasificaron subjetivamente como habitantes de una zona de riesgo alto prefieren la alternativa no hacer nada. Parece que el ingreso es un factor crítico al decidir apoyar los programas de protección contra incendios forestales. Al comparar los resultados con los datos de los hogares generales de FL en Holmes et al. (2013), encontramos resultados similares para el grupo de Menos Experiencia. Sin embargo, para el grupo de Más Experiencia, se observan diferentes preferencias de los hogares. Los hogares de generales FL (Holmes et al., 2013) prefieren el programa privado, pero el *statu quo* en lugar de un programa público. Nuestros resultados muestran que los hogares en el grupo de Más Experiencia generalmente se oponen a este tipo de programas de mitigación de incendios y necesitan ser compensados para participar en cualquiera de los dos programas.

Los resultados sugieren que la prioridad más alta para los fondos de costo compartido se dirigiría a los propietarios de viviendas en áreas que perciben que sus casas están en riesgo alto y especialmente a compartir acciones privadas en sus propios predios. Por lo tanto, nuestros resultados serían de utilidad para los gerentes de distrito contra incendio con respecto a la focalización de los hogares minoritarios de bajos ingresos que viven en una zona de riesgo alto. También podría ayudar a las decisiones sobre los fondos de costo compartido en términos de en qué tipos de acciones/programas (privado vs público) compartir los costos.

## Agradecimientos

Agradecemos al Dr. John Loomis, Departamento de Economía Agrícola y de los Recursos, Universidad Estatal de Colorado, por sus valiosos comentarios y sugerencias que mejoraron la presentación del material en el manuscrito.

## Referencias

- Adamowicz, W., Louviere, J., Swait, J.** 1998. Introduction to attribute-based stated choice methods. *Resource Valuation Branch Damage Assessment Center, NOAA, US Department of Commerce*.
- Boxall, P.C., Adamowicz, W.L.** 2002. Understanding heterogeneous preferences in random utility models: a latent class approach. *Environmental and Resource Economics* **23**, 421-446.
- Boxall, P.C., Adamowicz, W.L., Swait, J., Williams, M., Louviere, J.** 1996. A comparison of stated preference methods for environmental valuation. *Journal of Ecological Economics*. **18** (3), pp 243–253.
- Bureau of Labor Statistics.** 2016. CPI inflation calculator. Available at: <http://data.bls.gov/cgi-bin/cpicalc.pl> (Accessed June 2016).
- Champ, P.A., Boyle, K., Brown, T.C.** 2003. A primer on nonmarket valuation. *Kluwer Academic Publishers, Netherlands*
- Holmes, T., González-Cabán, A., Loomis, J., Sánchez, J.J.** 2013. The role of personal experience on choice-based preferences for wildfire protection programs. *International Journal of Wildland Fire* **22**: 234-245. Available online: <http://dx.doi.org/10.1071/WF11182>
- Krupnick, A., Alberini, A., Cropper, M., Simon, N., O'Brien, B., Goeree, R., Heintzelman, M.** 2002. Age, health and the willingness to pay for mortality risk reductions: A contingent valuation survey of Ontario residents. *Journal of Risk and Uncertainty* **24**, 161-186.
- Loomis, J., duVair, P.** 1993. Evaluating the effect of alternative risk communication devices on willingness to pay: Results from a dichotomous choice contingent valuation experiment. *Land Economics* **69**: 287-298.
- Loomis, J.B., Hung, L.T., González-Cabán, A.** 2009. Willingness to pay function for two fuel treatments to reduce wildfire acreage burned: A scope test and comparison of White and Hispanic households. *Forest Policy and Economics* **11**: 155-160.
- National Interagency Fire Center Wildland Fire Statistics.** 2014. Available at: [http://www.nifc.gov/fireInfo/fireInfo\\_statistics.html](http://www.nifc.gov/fireInfo/fireInfo_statistics.html) (Accessed June 2014).
- Radeloff, V.C., Hammer, R.B., Stewart, S.I., Fried, J.S., Holcom, S.S., McKeefry, J.F.** 2005. The wildland-urban interface in the United States. *Ecological Applications* **15**(3): 799-805.
- Sánchez, J.S., Loomis, J., González-Cabán, A., and Holmes, T.** (in review). Are WTP estimates for wildfire risk reductions transferrable across the USA? Results of a choice experiment in California and Florida.
- Scarpa, R., Thiene, M.** 2005. Destination choice models for rock climbing in the northeastern Alps: A latent-class approach based on intensity of preferences. *Land Economics* **81**, 426-444.
- Smith, V.K., Desvousges, W.** 1987. An empirical analysis of the economic value of risk changes. *Journal of Political Economy* **95**:89-114.
- Train, K.** 2009. Discrete choice methods with simulation. Cambridge: *Cambridge University Press*.
- US Census Bureau.** 2015. Quickfacts United States. Available at <http://www.census.gov/quickfacts/table/PST0415215/12> (Accessed July 1, 2016).
- Walker, S., Rideout, D., Loomis, J., Reich, R.** 2007. Comparing the value of fuel treatment options in northern Colorado's urban and wildland-urban interface areas. *Forest Policy and Economics* **9**: 694-703.

# ¿Los Tratamientos de Combustible Reducen los Costos de Supresión de Incendios Forestales y Daños a la Propiedad? Análisis de los Costos de Supresión y Daños a la Propiedad en los Bosques Nacionales de los Estados Unidos<sup>1</sup>

**John Loomis<sup>2</sup>, José J. Sánchez<sup>3</sup>, Armando González-Cabán<sup>3</sup>, Douglas Rideout<sup>4</sup> and Robin Reich<sup>4</sup>**

## Resumen

Este trabajo reporta los resultados de dos pruebas de hipótesis sobre si los tratamientos de reducción de combustible usando métodos prescritos de quema y mecánicos reducen los costos de supresión de incendios forestales y daños a la propiedad. Para probar estas dos hipótesis se recopilieron datos sobre tratamientos de combustible, costos de supresión de incendios y daños a la propiedad asociados con incendios forestales en los Bosques Nacionales de los Estados Unidos durante un período de cinco años. Los resultados de las regresiones múltiples muestran que sólo en California el tratamiento mecánico de combustible redujo los costos de supresión de incendios forestales. Sin embargo, los resultados de nuestras segundas pruebas de hipótesis de que los tratamientos de combustible, al hacer que los incendios forestales sean menos dañinos y más fáciles de controlar, puedan reducir los daños a la propiedad (por ejemplo, estructuras-graneros, edificios, etc. y residencias perdidas) parece confirmarse para los acres tratados con la quema prescrita. En tres de las tres regiones geográficas de los Estados Unidos que experimentaron pérdidas significativas de propiedades, la quema prescrita redujo el número de estructuras dañadas por incendios forestales.

Palabras clave: reducción mecánica de combustible, quemado prescrito, daños a la propiedad, costos de supresión de incendios forestales

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto Simposio Internacional sobre Economía, Planificación y Política de Incendios: Servicios de Incendios Forestales y Ecosistemas, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Profesor, Departamento de Economía Agrícola y de Recursos, Universidad Estatal de Colorado, Fort Collins, CO 80523; Correo electrónico: John.Loomis@colostate.edu

<sup>3</sup> Estadístico de Investigación y Economista de Investigación, respectivamente, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Riverside, CA 92507.

<sup>4</sup> Profesores, Departamento de Ciencias Forestales y Cuencas, Universidad Estatal de Colorado, Fort Collins, CO 80523

## Introducción

En todo el mundo, grandes incendios forestales e incendios en la interfaz forestal-urbana (IFU) han aumentado en frecuencia, tamaño, costos de supresión y daños a la propiedad. Por ejemplo, durante el último decenio el Servicio Forestal del USDA solo ha incurrido en costos de supresión de incendios forestales de más de \$ 19 mil millones combatiendo incendios forestales que han quemado más de 39 millones de hectáreas de bosques y matorrales (NIFC 2014). Además, en el período de 1999 a 2010 se quemaron más de 1100 casas y se perdieron 230 vidas (Gude et al., 2013). Además, se reconoce cada vez más la ineffectividad de combatir incendios en ecosistemas donde las políticas previas de exclusión de incendios han llevado a acumulaciones peligrosas de combustible. Por ejemplo, ver el informe GAO 2015 (GAO: 1) que dice... *"Sin embargo, durante el siglo pasado, varias prácticas de manejo de la tierra, incluyendo la supresión de incendios, han interrumpido la frecuencia normal de incendios en muchos ecosistemas de bosques y pastizales en los Estados Unidos, resultando en acumulaciones anormalmente densas de vegetación..."* "La revisión de incendio cuatrienal del 2014 (Hamilton 2015: iii) afirma además que *"... Los niveles de combustible también están en niveles sin precedentes debido al cambio climático, décadas de supresión que han limitado los incendios a niveles de pre-guerra de 25 a 40 millones de acres quemados por año a 5 millones o menos desde los años 1960, y un declive en el manejo forestal activo..."* Una estrategia para revertir esta tendencia es realizar tratamientos de reducción de combustible tales como la quema prescrita y la reducción mecánica de combustible. En general, dentro de la comunidad de manejo de incendios se cree que tales tratamientos de reducción de combustible, serán efectivos en la reducción de los costos de supresión de incendios forestales y daños a la propiedad. Este documento prueba las hipótesis de que las prácticas actuales de tratamiento de combustible reducen los costos de supresión de incendios forestales y los daños materiales asociados con incendios forestales en los bosques nacionales de los Estados Unidos durante los últimos cinco años.

## Revisión de Literatura

En general, las tres razones más comunes encontradas en la literatura para explicar el aumento actual en los daños causados por incendios forestales y los costos de supresión son: 1) la acumulación de combustibles resultado en parte por políticas pasadas de supresión de incendios, 2) temperaturas más cálidas y condiciones de sequía, y 3) expansión del IFU en paisajes propensos al fuego. Nuestra revisión de la literatura está organizada alrededor de estas tres razones, aunque el énfasis está en la 1 y la 3, ya que estas pueden ser influenciadas por el manejo forestal.

Desde una perspectiva teórica, Rideout et al. (2008) exploraron el tema de si los tratamientos de combustible tienen el potencial de reducir los costos de supresión de incendios forestales en el área tratada. Ellos mostraron que es difícil establecer una relación inequívoca entre los tratamientos de combustible y los costos de supresión resultantes, sin tener en cuenta el nivel implícito de daños netos por incendio. Además, los tratamientos anteriores del combustible a menudo hacen que los esfuerzos de supresión de incendios sean más efectivos y, por lo tanto, más, no menos, la supresión puede justificarse en áreas que han sido tratadas, que en áreas no tratadas (el cual puede ser demasiado inseguro para participar en la supresión de incendios forestales o la supresión de incendios forestales hará poco para reducir los daños). Por otra parte, debido a que la supresión de incendios puede ser más efectiva, el tamaño final del incendio podría ser menor, lo que potencialmente reduce los costos de supresión de incendios y daños a la propiedad. Pero el efecto neto de estas posibles relaciones es una cuestión empírica que sólo se puede abordar con datos sobre los costos reales de supresión de incendios en las áreas tratadas frente a las no tratadas. Por lo tanto, nos dirigimos primero a la literatura existente para ver lo que los análisis empíricos previos han encontrado y para guiar nuestras pruebas empíricas de hipótesis.

Un estudio de los costos de supresión en el oeste de Estados Unidos por Gebert et al. (2007), encontró que los valores más altos de vivienda dentro de las 20 millas de una ignición de incendios forestales aumentaron los gastos de supresión. Todas las demás variables que influyeron en los costos de supresión fueron las variables biofísicas como el comportamiento extremo del fuego, las condiciones de sequía, los niveles de intensidad de incendios forestales y el componente de liberación de energía.

Yoder y Ervin (2012) fueron uno de los primeros en realizar un análisis de los costos de supresión de incendios a nivel de condado en el oeste de Estados Unidos y probar si existe alguna relación entre los costos de tratamiento de combustible y los costos de supresión de incendios forestales. Para llevar a cabo este análisis, Yoder y Ervin manejaron los costos de supresión en función de: acres, acres de quema prescrita (RX), acres mecánicamente adelgazados, cantidad gastada en la quema RX, cantidad gastada en adelgazamiento, tipo de vegetación, área de la IFU, temperatura y precipitación.

Yoder y Ervin incluyeron cuatro años de valores rezagados de acres quemados y áreas de adelgazamiento para captar la efectividad relativa de estos tratamientos de combustible con el tiempo. Si bien su modelo tenía un poder explicativo razonablemente alto (71% o  $0.71 R^2$ ) generalmente ni los acres tratados con quema prescrita ni el costo de la quema prescrita, ni los acres adelgazados ni el costo del adelgazamiento tuvo un efecto negativo y significativo en los costos de supresión (solo una variable de las 16). Sin embargo, es posible que su modelo exhiba un grado de multicolinealidad; como uno esperaría de los acres adelgazados y el costo de adelgazamiento, así como acres

quemados y el costo de la quema estarían altamente correlacionados, y por lo tanto esto podría enmascarar una relación significativa.

Más recientemente, Gude et al. (2013) usó incendios en la Sierra Nevada de California para estimar la relación entre la vivienda y los costos de supresión de incendios. Es decir, si la presencia de viviendas está asociada con aumentos en los costos de supresión de incendios después de controlar otros parámetros biofísicos (por ejemplo, tamaño, terreno, clima, etc.). Su estudio encontró un aumento pequeño, pero estadísticamente significativo en los costos de supresión con la presencia de hogares dentro de un radio de 6 millas de un incendio forestal activo. Schofield et al. (2015) analizó el efecto de la configuración espacial de casas en la IFU sobre los costos de combatir cerca de 300 incendios forestales en Colorado, Montana y Wyoming de 2002 a 2011. Schofield et al. (2015: 3) encontró que no sólo los hogares en la IFU importan, sino que si los hogares están muy dispersos en ese paisaje (por ejemplo, el desarrollo de parcelas de 35 acres en común en Colorado) en contra de si se agrupan juntos tuvo un efecto significativo sobre los costos de supresión de incendios forestales. Gude et al. (2014) evaluó los factores que determinan los costos de supresión de incendios incluyendo el Programa Firewise. En su modelo, el tamaño del incendio, la duración del incendio y la dificultad del terreno tuvieron la mayor influencia en los costos de supresión de incendios. La variable del Programa Firewise no fue significativa.

Por último, Thompson y Anderson (2015) adoptaron un método de modelado para evaluar los efectos del tratamiento del combustible en los costos de supresión de incendios. Compararon tres enfoques de modelado que se aplicaron en diferentes áreas geográficas (por ejemplo, Oregón, Arizona y la Gran Cuenca). A lo largo de este amplio período geográfico, encontraron que existía el potencial de reducir los costos de combatir los incendios forestales mediante tratamientos de combustible. Sin embargo, señalaron (Thompson y Anderson, 2015: 169): *"En segundo lugar, la relativa rareza de los grandes incendios forestales en cualquier punto dado en el paisaje y la baja probabilidad proporcionada de cualquier área quemada en cualquier año sugiere la necesidad de tratamientos a gran escala de combustibles... Así, para ahorrar grandes cantidades de dinero en la supresión de incendios, las agencias de manejo de tierras podrían necesitar gastar grandes cantidades de dinero en el tratamiento de combustible a gran escala"*. Este será un punto al que volveremos en nuestra conclusión.

¿Qué podemos concluir de la literatura? En primer lugar, con el fin de aislar el efecto del tratamiento del combustible sobre los costos de supresión de incendios forestales, es importante controlar si el incendio fue en la IFU y las variables biofísicas. Específicamente, los costos de supresión de incendios forestales estaban relacionados con el tamaño del incendio, el terreno (por ejemplo, la pendiente) y los niveles de intensidad de incendios forestales. Las cargas de combustible más altas (por ejemplo, la densidad y el tipo de vegetación) también parecen afectar el costo de supresión de

incendios forestales, y la reducción de la carga de combustible es uno de los propósitos de la quema prescrita y de los tratamientos mecánicos de combustible. Por lo tanto, la especificación en nuestro modelo empírico incluye todos estos factores en un intento de controlarlos cuando son evaluados ya sea que el tratamiento de reducción de combustible reduce los costos de supresión de incendios forestales.

Los tratamientos de combustible son cada vez más vistos como un medio para reducir la gravedad de los incendios forestales, y hacer que estos fuegos sean más fáciles de controlar y suprimir. Un objetivo secundario es reducir los daños a la propiedad y las vidas perdidas debido a los incendios forestales. Si bien estos son objetivos deseables de un programa de tratamiento de combustible, la quema prescrita y la reducción mecánica de combustible son costosas de llevar a cabo. Como tal, tienen que ser presupuestados. Para presupuestarlos, es necesario contar con algún método sistemático para estimar los costos.

## Especificación del Modelo Empírico y Pruebas de Hipótesis

### Modelo de Costo de Supresión de Incendios Forestales

Sobre la base de los modelos Gude (2014) y Yoder y Ervin (2012), especialmente en este último, se estima un modelo de regresión múltiple para probar hipótesis y cuantificar el efecto de los esfuerzos de tratamiento de combustible en los costos de supresión de incendios forestales y estructuras dañadas.

Nuestros modelos de regresión explican muchas de las variables cuantitativas y cualitativas que influyen en los costos de la supresión de incendios forestales. En particular:

#### Variable dependiente

**Ln (CST)** = log natural de los Costos de Supresión Total

#### Variables explicativas independientes

**Acres\_Mec:** Acres del área del incendio forestal con previo tratamiento mecánico de combustible

**Acres\_RX:** Acres del área del incendio forestal con previo tratamiento de combustible de fuego

**lnIFacres:** log natural del tamaño del incendio forestal en acres

**IFUY:** Variable de cambio de intercepción para saber si el fuego está en un área de la IFU

**Elev:** elevación promedio del área del incendio forestal

**Pendiente:** pendiente promedio dentro de la zona del incendio forestal

**% de carga de combustible bajo:** porcentaje del área con nivel bajo de las cargas de combustible existentes

**% de carga de combustible mixto:** porcentaje del área en el nivel medio o mixto de las cargas de combustible existente

**% de carga de combustible alta:** porcentaje del área en el nivel alto de combustibles existentes

**IntF\_pie:** Nivel de Intensidad de Fuego, medido en pies

**Densidad de la Corona:** densidad aparente de la corona

**Intervalo de Retorno de Fuego:** Promedio del intervalo de retorno del incendio de la vegetación a través del área del incendio forestal

*Termino de interacción*

**IFUY \* Elev:** incluido para ver si había un costo diferencial de combatir incendios forestales en áreas de la IFU a medida que aumentaba la elevación.

El modelo de referencia especificado para todas las regiones geográficas (definido más detalladamente a continuación) es:

$$(1) \ln(\text{CST}) = B_0 - B_1(\text{Acres\_Mec}) - B_2(\text{Acres\_RX}) + B_3(\ln\text{IFacres}) + B_4(\text{IFUY}) + B_5(\text{Elev}) + B_6(\text{Pendiente}) - B_7(\% \text{ de carga de combustible bajo}) + B_8(\% \text{ de carga de combustible mixto}) + B_9(\text{IntF\_pies}) + B_{10}(\text{Densidad de la Corona}) + B_{11}(\text{Intervalo de Retorno de Fuego}) + B_{12}(\text{IFUY} * \text{Elev})$$

Los coeficientes de las variables de tratamiento del combustible deben ser negativos y significativos si el tratamiento de pre-supresión de combustible reduce los costos de supresión de incendios. Matemáticamente nuestra hipótesis (con CST como variable dependiente) se puede expresar como:

$$(2) \text{Ho: } B_{\text{AcresRX}} = 0 \quad \text{Ha: } B_{\text{AcresRX}} < 0$$

$$(3) \text{Ho: } B_{\text{AcresMEC}} = 0 \quad \text{Ha: } B_{\text{AcresMEC}} < 0$$

Las hipótesis se prueban con base en estadística t asintótica sobre los dos tipos de tratamientos de combustible de pre-supresión.

Modelo de daño a la propiedad

$$(2) \ln(\# \text{Estructuras}) = A_0 - A_1(\text{Acres\_Mec}) - A_2(\text{Acres\_RX}) + A_3(\ln\text{IFacres}) + A_4(\text{IFUY})$$

Donde #Estructuras es la suma de casas y otras estructuras (graneros, edificios, garajes, etc.) destruidos por incendios forestales.

Las pruebas de hipótesis para daños a la propiedad (#Estructuras) son:

$$(4) \text{Ho: } A_{\text{AcresRX}} = 0 \quad \text{Ha: } A_{\text{AcresRX}} < 0$$

$$(5) \text{Ho: } A_{\text{AcresMEC}} = 0 \quad \text{Ha: } A_{\text{AcresMEC}} < 0$$

Las hipótesis se prueban a partir de una prueba de t asintótica sobre dos tipos de tratamientos de combustible de pre-supresión.

## **Datos**

### **Sitios de Estudio**

Para que el estudio fuera lo más exhaustivo posible y representativo de todos los tipos de vegetación y modelos de combustible y actividades de tratamiento de combustible en los EE.UU., recolectamos el tratamiento de combustible y los costos de supresión de incendios forestales y los datos asociados en todas las regiones continentales nacionales forestales de EE.UU. excepto Alaska. Ecológicamente, y en términos de su régimen de fuego, Alaska es muy diferente de todas las regiones en los Estados Unidos continental lo que requeriría un esfuerzo de modelado por separado.

### **Desarrollo de Base de Datos para los Costos de Supresión de Incendios Forestales**

Se obtuvieron datos individuales de supresión de incendios forestales durante los años 2010 a 2014. Este archivo incluye datos sobre el tamaño de cada incendio, estructuras destruidas, y por supuesto el costo de la supresión. Sin embargo, hubo preocupaciones importantes con respecto a la exactitud de los datos de costos reportados, especialmente para los pequeños incendios. Se realizó un esfuerzo significativo para colaborar con los científicos del Servicio Forestal del USDA en la Estación de Investigación de las Montañas Rocosas para obtener datos más precisos sobre los costos de supresión de incendios forestales para grandes incendios forestales (incendios superiores a 300 acres). Por lo tanto, restringimos nuestro análisis a incendios de 300 acres o más. Este costo más preciso de los datos de supresión se obtuvo y se fusionó en los otros datos de supresión de incendios forestales que describen los incendios forestales para crear una base de datos maestro de supresión de incendios forestales donde la unidad de análisis es el incendio individual.

Los datos sobre la quema RX y el tratamiento mecánico de combustible se obtuvieron de los datos del área de tratamiento del Servicio Forestal del USDA FACTS. Los acres tratados por cada método se geolocalizaron y luego se fusionaron con los datos de costo de supresión de incendios forestales y los datos espaciales del SIG sobre el área de los tratamientos e incendios forestales (por ejemplo, pendiente, elevación, cubierta vegetal) para crear el conjunto de datos maestros utilizados para el análisis de regresión.

### **Determinación de Regiones Geográficas de Análisis**

Dado el número limitado de observaciones para cada una de las Regiones del Servicio Forestal del USDA, evaluamos la agrupación de los datos en regiones geográficas más grandes. Una elección natural para esto fueron los Centros de Coordinación de Área Geográfica (CCAG) interinstitucionales de los Estados Unidos utilizados por la organización de manejo de incendios del Servicio Forestal para tomar decisiones de

supresión de incendios, incluyendo logística y despacho. Se estimó un modelo nacional inicial de costos de supresión de incendios forestales que incluyó cada CCAG como variable de cambio de interceptación para permitir la evaluación de la similitud de los coeficientes de las regiones geográficas. Además, se realizó una ANOVA (Análisis de Varianza) en los CCAG individuales que mostraron que algunos CCAG tenían diferencias estadísticamente significativas en los costos de supresión de incendios forestales por acre entre sí, pero otros no. Sobre la base de estos dos análisis estadísticos, así como la geografía, los CCAG se pusieron en grupos de dos o tres. Específicamente, los CCAG del norte y del sur de California se convirtieron en un área de análisis de costos de supresión de incendios. También se combinaron los CCAG orientales y meridionales. Los dos CCAG de las Montañas Rocosas y los CCAG del suroeste se combinaron en un área de análisis de supresión de incendios forestales. Se combinaron los CCAG del noroeste y los CCAG de la Gran Cuenca. Así tenemos cuatro regiones de análisis de incendios forestales. Los detalles sobre el modelo nacional de costos de supresión de incendios forestales y la ANOVA están disponibles por el autor principal.

### **Estadísticas Descriptivas Seleccionadas**

La Tabla 1 presenta las principales estadísticas descriptivas sobre el número de incendios forestales, las estructuras destruidas y el porcentaje promedio de una zona de incendio forestal tratada con quema RX y tratamientos mecánicos de reducción de combustible. Como puede verse en la Tabla 1, sólo los porcentajes pequeños de áreas de incendios forestales han tenido tratamientos de combustible. Como puede verse comparando la media y la mediana, mucho menos de la mitad de las áreas tenían tratamientos de combustible de cualquier tipo.

También vale la pena señalar que el tamaño de la muestra es insuficiente para estimar una regresión sobre las estructuras y casas perdidas en los incendios forestales con y sin tratamiento para los CCAG oriental y meridional. Específicamente, sólo hubo ocho estructuras perdidas en total en dos de los 173 incendios forestales en los CCAG oriental y meridional.

**Tabla 1. Porcentaje de Áreas de Incendios Forestales Tratadas y Estructuras y Casas Destruídas**

| Grupo CCAG<br>Incendio | Porcentaje Tratado |          | Número Destruído |       | Muestra<br>n |
|------------------------|--------------------|----------|------------------|-------|--------------|
|                        | Fuego              | Mecánico | Estructuras      | Casas |              |
| Grupo 1 Este-Su        |                    |          |                  |       |              |
| Media                  | 15                 | 0.5      | 6                | 2     | 173          |
| Mediana                | 0                  | 0        |                  |       |              |
| Grupo 2 Rocosa-SO      |                    |          |                  |       |              |
| Media                  | 8.8                | 0.4      | 36               | 20    | 390          |
| Mediana                | 0                  | 0        |                  |       |              |
| Grupo 3NO-GC           |                    |          |                  |       |              |
| Media                  | 7.3                | 0.5      | 35               | 9     | 223          |
| Mediana                | 0                  | 0        |                  |       |              |
| Grupo 4 California     |                    |          |                  |       |              |
| Media                  | 1                  | 0.13     | 27               | 19    | 115          |
| Mediana                | 0                  | 0        |                  |       |              |

Este-Su son los CCAG del este y sur; Rocoso-SO son los CCAG de las Montañas Rocosas y suroeste. NO-GC son los CCAG del noroeste y de la Gran Cuenca. California son los CCAG del norte y sur de California.

## Resultados

### Resultados Estadísticos del Costo de la Supresión de Incendios Forestales por Grupos CCAG

En la Tabla 2 se presentan los resultados de regresión para el Grupo # 1 (CCAG del este y del sur)

**Tabla 2. Costos de Supresión para el Grupo # 1 CCAG (CCAG del este y del sur).**

| Variable                        | Estimado | Error Est. | Valor t | Probabilidad |
|---------------------------------|----------|------------|---------|--------------|
| Intercepto                      | 2.6553   | 1.1021     | 2.409   | 0.1712*      |
| Acres_Mec                       | -0.1913  | 0.6397     | -0.299  | 0.7653       |
| Acres_RX                        | -0.0004  | 0.0004     | -1.227  | 0.2216       |
| lnIFacres                       | 0.9930   | 0.1358     | 7.312   | 1.17e-11***  |
| IFUY                            | 0.8679   | 0.3539     | 2.452   | 0.01526*     |
| Elevación                       | -0.0015  | 0.0006     | -2.439  | 0.01058*     |
| Pendiente                       | 0.1215   | 0.0264     | 4.603   | 8.40e-06***  |
| % de carga de combustible bajo  | -0.0008  | 0.0333     | -0.023  | 0.982        |
| % de carga de combustible mixto | -0.0650  | 0.0498     | -1.305  | 0.1939       |
| IntF_pie                        | 0.0848   | 0.0308     | 2.753   | 0.00658**    |
| Densidad de Corona              | 0.1784   | 0.0835     | 2.136   | 0.0342*      |
| Intervalo de Retorno de Fuego   | 0.0810   | 0.0442     | 1.833   | 0.0687.      |
| IFUY*Elevación                  | 0.0001   | 0.0001     | 0.125   | 0.9007       |
| R <sup>2</sup>                  | 0.4920   |            |         |              |

\*\*\* significativo al nivel del 99.99%; \*\* significativo al nivel del 99.9%; \* Significativo al nivel del 99%; + Significativo al nivel del 95%; . Significativo al nivel del 90%

La mayoría de los signos de los coeficientes de las variables tienen sentido: los incendios forestales que afectan a IFUY, bosques de mayor densidad de corona, pendientes más pronunciadas y altos niveles de intensidad de fuego tienen costos de supresión mayores que el promedio. En general, el poder explicativo del modelo es razonablemente bueno (49,2%) para los datos de sección transversal a través de un alcance geográfico amplio.

En términos de nuestras pruebas de hipótesis, ni el tratamiento Acres Mec ni el tratamiento Acres RX son estadísticamente diferentes de cero. Es decir, las hectáreas de la zona de incendios forestales tratadas con tratamientos mecánicos o combustibles no parecen tener un efecto sistemático sobre los costos de supresión de incendios forestales.

La Tabla 3 presenta los resultados de regresión para el modelo para el Grupo 2 (CCAG de las Montañas Rocosas y suroeste).

**Tabla 3. Costos de Supresión para el Grupo 2 de los CCAG (CCAG de las Montañas Rocosas y suroeste).**

| <b>Variable</b>                 | <b>Estimación</b> | <b>Error Est.</b> | <b>Valor t</b> | <b>Probabilidad</b> |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------------|
| Intercepto                      | 5.0260            | 0.6357            | 7.905          | 2.93e-14 ***        |
| Acres_Mec                       | 0.5056            | 0.4550            | 1.111          | 0.267156            |
| Acres_RX                        | 0.0000            | 0.0002            | 0.214          | 0.830862            |
| lnIFacres                       | 0.5318            | 0.0760            | 6.997          | 1.18e-11 ***        |
| IFUY                            | 2.3740            | 0.9269            | 2.562          | 0.010806 *          |
| Elevación                       | 0.0010            | 0.0002            | 3.923          | 0.000104 ***        |
| Pendiente                       | 0.0518            | 0.0159            | 3.264          | 0.001197 **         |
| % de carga de combustible bajo  | 0.0094            | 0.0189            | 0.499          | 0.617967            |
| % de carga de combustible mixto | 0.0302            | 0.0317            | 0.952          | 0.341547            |
| IntF_pie                        | 0.1638            | 0.0229            | 7.141          | 4.74e-12 ***        |
| Densidad de Corona              | -0.0221           | 0.0306            | -0.724         | 0.46943             |
| Intervalo de Retorno de Fuego   | -0.0585           | 0.0240            | -2.440         | 0.015150 *          |
| IFUY*Elevación                  | -0.0007           | 0.0005            | -1.488         | 0.137542            |
| R <sup>2</sup>                  | 0.425             |                   |                |                     |

\*\*\* significativo al nivel del 99.99%; \*\* significativo al nivel del 99.9%; \* Significativo al nivel del 99%; + Significativo al nivel del 95%; . Significativo al nivel del 90%

La mayoría de los signos de los coeficientes de las variables de la Tabla 3 tienen sentido: los incendios forestales que involucran WUIY, pendientes más pronunciadas, elevación más alta y mayor nivel de Intensidad de Fuego dan como resultado costos de supresión de incendios forestales superiores al promedio. La explicación del modelo es bastante alta (42,5%) para los datos de sección transversal a través de un alcance geográfico tan amplio.

En términos de nuestras pruebas de hipótesis, los tratamientos Acres Mec y Acres RX no son estadísticamente diferentes de cero. Es decir, los acres de la zona de incendios forestales tratados con tratamientos mecánicos o combustibles no parecen tener un efecto sistemático sobre los costos de supresión de incendios forestales.

La Tabla 4 presenta los resultados de la regresión para el modelo del Grupo 3 (CCAG del noroeste y la Gran Cuenca).

Tabla 4. Costos de Supresión para el Grupo # 3 del GACC (GACC de noroeste y la Gran Cuenca).

| Variable                        | Estimación | Error Est. | Valor-t | Probabilidad |
|---------------------------------|------------|------------|---------|--------------|
| Intercepto                      | 8.9760     | 0.8400     | 10.686  | 2e-16 ***    |
| Acres_Mec                       | -0.1818    | 0.5090     | -0.357  | 0.7213       |
| Acres_RX                        | 0.0001     | 0.0003     | 0.247   | 0.8054       |
| lnIFacres                       | 0.5529     | 0.0904     | 6.114   | 4.74e-09 *** |
| IFUY                            | -0.1205    | 0.7861     | -0.153  | 0.8783       |
| Elevación                       | 0.0001     | 0.0002     | 0.358   | 0.721        |
| Pendiente                       | 0.0065     | 0.0174     | 0.371   | 0.7109       |
| % de carga de combustible bajo  | 0.0215     | 0.0327     | 0.657   | 0.5118       |
| % de carga de combustible mixto | 0.0229     | 0.0364     | 0.63    | 0.5294       |
| IntF_pie                        | 0.0262     | 0.0313     | 0.837   | 0.4035       |
| Densidad de Corona              | 0.0630     | 0.0268     | 2.351   | 0.0197 *     |
| Intervalo de Retorno de Fuego   | -0.0597    | 0.0272     | -2.198  | 0.0291 *     |
| IFUY*Elevation                  | 0.0005     | 0.0005     | 1.15    | 0.2513       |
| R <sup>2</sup>                  | 0.26       |            |         |              |

\*\*\* significativo al nivel del 99.99%; \*\* significativo al nivel del 99.9%; \* Significativo al nivel del 99%; + Significativo al nivel del 95%;

El rendimiento de este modelo es relativamente bajo con el tamaño de los incendios forestales, mayor densidad de la corona y mayor intervalo de retorno al fuego, resultando en costos de supresión de incendios forestales superiores al promedio. El poder explicativo del modelo del Pacífico noroeste y la Gran Cuenca es del 25%.

En términos de nuestras pruebas de hipótesis, ni Acres Mec ni Acres RX son estadísticamente diferentes de cero. Es decir, las hectáreas de la zona de incendios forestales tratados con tratamientos mecánicos o combustibles no parecen tener un efecto sistemático en los costos de supresión de incendios.

La Tabla 5 presenta los resultados de regresión para el modelo del Grupo 4 en el norte y el sur de California.

**Tabla 5. Costos de Supresión para el Grupo 4 del GACC (GACC del norte y del sur de California).**

| <b>Variable</b>                 | <b>Estimación</b> | <b>Error Est.</b> | <b>Valor t</b> | <b>Probabilidad</b> |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------------|
| Intercepto                      | 9.6310            | 1.0980            | 8.772          | 4.21e-14 ***        |
| Acres_Mec                       | -4.2690           | 2.1490            | -1.987         | 0.04963 *           |
| Acres_RX                        | 0.0000            | 0.0001            | -0.326         | 0.74547             |
| lnIFacres                       | 0.5859            | 0.1096            | 5.344          | 5.56e-07 ***        |
| IFUY                            | -0.9208           | 0.8329            | -1.106         | 0.27148             |
| Elevación                       | -0.0003           | 0.0004            | -0.805         | 0.42269             |
| Pendiente                       | 0.0257            | 0.0229            | 1.121          | 0.26488             |
| % de carga de combustible bajo  | 0.0302            | 0.0289            | 1.044          | 0.29918             |
| % de carga de combustible mixto | 0.0907            | 0.0490            | 1.85           | 0.06725 .           |
| IntF_pie                        | 0.0652            | 0.0350            | 1.864          | 0.06526 .           |
| Densidad de Corona              | 0.0122            | 0.0341            | 0.358          | 0.72117             |
| Intervalo de Retorno de Fuego   | -0.1130           | 0.0414            | -2.731         | 0.00745 **          |
| IFUY*Elevación                  | 0.0006            | 0.0008            | 0.822          | 0.41309             |
| R <sup>2</sup>                  | 0.49              |                   |                |                     |

\*\*\* significativo al nivel del 99.99%; \*\* significativo al nivel del 99.9%; \* Significativo al nivel del 99%; + Significativo al nivel del 95%; . Significativo al nivel del 10% R<sup>2</sup> = 49.0%

La regresión de California funciona razonablemente bien en términos de signos y nivel significativo. En particular, los signos de los coeficientes de las variables tienen sentido: un alto porcentaje de carga de combustibles mixtos, un nivel de intensidad de fuego más alto y un intervalo largo de retorno de fuego da como resultado costos de supresión de incendios forestales superiores al promedio. Creemos que IFUY es insignificante porque hay poca variación, ya que la mayoría de los incendios forestales en California tienen un área de IFUY dentro de ellos. El poder explicativo del modelo es razonablemente bueno al 49%.

En términos de nuestras pruebas de hipótesis, el nivel estadístico significativo y el signo negativo en Acres Mec indica que cuanto más acres de un área de incendio forestal tratados con reducción mecánica de combustible, menor será el costo de la supresión de incendios en California. Sin embargo, Acres RX no es estadísticamente diferente de cero. Es decir, los acres de la zona de incendios forestales tratados con un tratamiento de combustible de fuego parecen no tener un efecto sistemático sobre los costos de supresión de incendios forestales.

De los cuatro grupos CCAG, sólo uno de los tratamientos de combustible tuvo un efecto negativo estadísticamente significativo sobre los costos de supresión de incendios forestales (CCAG del norte y sur de California). Como se señaló anteriormente en nuestra discusión de hipótesis, es posible que la falta de significación estadística de las variables de tratamiento de combustible puede deberse a efectos opuestos: en algunos

incendios forestales, el tratamiento de combustible redujo los costos de supresión, pero en otros incendios, los tratamientos con combustible permitieron a los bomberos entrar en áreas que de otra manera no serían seguras, aumentando así los costos de supresión de incendios forestales. Rideout et al. (2008) señalan que este resultado es teóricamente posible bajo circunstancias plausibles. Además, como señalaron Thompson y Anderson (2015), puede haber simplemente pocos tratamientos de combustible en áreas con incendios forestales para detectar cualquier efecto de los tratamientos de combustible sobre los costos de supresión de incendios forestales. Esa falta significativa de la quema prescrita (Acres\_RX) y la reducción mecánica del combustible (Acres\_Mec) de manera casi uniforme en todas las regiones CCAG excepto una es consistente con las conclusiones de Yoder y Ervin (2012). Nuestros resultados también son consistentes con el hallazgo general de Gude et al. (2014) del Programa de Comunidades Firewise que al reducir los combustibles vegetativos alrededor de los hogares no redujo los costos de supresión de incendios forestales.

## **Resultados por Efecto del Tratamiento de Combustible en los Daños a la Propiedad**

Nuestra segunda prueba de hipótesis es que los tratamientos de reducción de combustible, como la quema RX y la reducción mecánica de combustible al aumentar la productividad marginal de un determinado gasto de supresión de incendios, reducirían el número de hogares y otras estructuras dañadas por incendios forestales (Rideout et al. 2008). Este es el hallazgo de Bostwick et al. (2011) por un incendio (Wallow Fire) en el suroeste de Estados Unidos. Es obvio que es necesario realizar pruebas con múltiples incendios en múltiples regiones geográficas para determinar si este es el resultado habitual o no.

Como se mostró anteriormente en la Tabla 1, el número relativamente bajo de estructuras (por ejemplo, casas, graneros, edificios fuera de sitio) dañadas en relación con el gran número de incendios sugiere que un modelo de datos de recuento podría ser la técnica estadística apropiada para estimar el efecto del tratamiento de combustible en los daños a la propiedad. Un recuento de datos es muy adecuado para manejar pequeños números enteros, incluyendo ceros mejor que la regresión MCO. Adoptamos un modelo bastante parsimonioso para probar el efecto del número de acres del incendio forestal tratado con reducción mecánica de combustible (Acres\_Mec) y el número de acres tratados con tratamiento de combustible de incendio prescrito (Acres\_RX). Otras variables incluidas son el tamaño del incendio (lnIFacres) y si el incendio ocurrió en un área de la IFU. Debido al hecho de que el Grupo CCAG # 1 solo tuvo 2 hogares perdidos y 6 estructuras destruidas de 173 incendios forestales, se determinó que no era posible estimar una regresión del modelo de datos de recuento para el Grupo 1 del CCAG. Los resultados en la Tabla 6 a través de los tres grupos CCAG con datos

suficientes sobre las estructuras quemadas, muestran que los incendios forestales más grandes y los incendios forestales en la IFU dan lugar a más estructuras perdidas. En términos de nuestra hipótesis, cuanto mayor sea el área del incendio forestal tratada con quema prescrita, menor será el número de estructuras destruidas. Específicamente, en los tres CCAG el coeficiente de Acres\_RX es negativo y estadísticamente significativo, indicando que al incrementar Acres\_RX, el número de estructuras destruidas disminuye (todas fueron significativas al nivel de 99%). Los resultados fueron más diversos para la reducción mecánica de combustible. En el Grupo 2 de CCAG (las Montañas Rocosas y suroeste), Acres Mec fue positivo y significativo al nivel del 95%. En el noroeste y la Gran Cuenca (Grupo CCAG # 3) Acres\_Mec fue negativo, pero no significativo a niveles convencionales.

**Tabla 6. Resultados de Regresión de Datos de Conteo para el Número de Estructuras Destruídas en Incendios Forestales**

**Tabla 6a. Grupo CCAG # 2 (CCAG Montañas Rocosas y suroeste).**

|            | Coeficientes |            |         |              |
|------------|--------------|------------|---------|--------------|
|            | Estimados    | Error Est. | Valor-t | Probabilidad |
| Intercepto | -8.364       | 0.5040     | -16.594 | < 2e-16 ***  |
| lnIFacres  | 0.8113       | 0.0506     | 16.032  | < 2e-16 ***  |
| IFU        | 1.483        | 0.1577     | 9.406   | < 2e-16 ***  |
| acres_RX   | -2.494e-04   | 8.795e-05  | -2.835  | 0.0046 **    |
| acres_Mec  | 0.5697       | 0.2949     | 1.932   | 0.0533 .     |

Código de significancia: 0.0001\*\*\*; 0.001\*\*; 0.05 .

**Tabla 6b. Grupo CCAG # 3 (CCAG del noroeste y la Gran Cuenca).**

|            | Coeficientes |            |         |              |
|------------|--------------|------------|---------|--------------|
|            | Estimados    | Error Est. | Valor-t | Probabilidad |
| Intercepto | -6.8109      | 0.4335     | -15.713 | < 2e-16 ***  |
| lnIFacres  | 0.7159       | 0.0426     | 16.814  | < 2e-16 ***  |
| IFU        | 1.4699       | 0.1372     | 10.711  | < 2e-16 ***  |
| acres_RX   | -0.0013      | 0.0004     | -3.472  | 0.0005 ***   |
| acres_Mec  | -0.4496      | 0.4387     | -1.025  | 0.3055       |

Código de significancia: 0.0001\*\*\*

**Tabla 6c. Grupo GACC # 4 (GACC del norte y sur de California).**

|            | Coeficientes |            |         |              |
|------------|--------------|------------|---------|--------------|
|            | Estimados    | Error Est. | Valor-t | Probabilidad |
| Intercepto | -4.8659      | 0.2750     | -17.694 | < 2e-16 ***  |
| lnIFacres  | 0.6749       | 0.0297     | 22.739  | < 2e-16 ***  |
| IFU        | 0.7749       | 0.1089     | 7.108   | 1.18e-12 *** |
| acres_RX   | -0.0291      | 0.0038     | -7.737  | 1.01e-14 *** |
| acres_Mec  | 4.8093       | 1.3655     | 3.522   | 0.0004 ***   |

Código de significancia: 0.0001\*\*\*

## Conclusión

En general, encontramos que los tratamientos de combustible rara vez tuvieron un efecto significativo en la reducción de los costos de supresión de incendios forestales. Como se observa en la literatura (en particular Thompson y Anderson, 2015), puede ser que para que los tratamientos de combustible tengan un efecto significativo en los costos de supresión de incendios forestales, debe haber un esfuerzo más sustancial en la quema prescrita y la reducción mecánica de combustible que es el caso actual.

Alternativamente, como señala Rideout et al. (2008) los tratamientos de combustible pueden aumentar la eficacia de los esfuerzos de supresión de incendios forestales, lo que conduce a la reducción de los daños de los recursos y la propiedad. En el caso de daños a la propiedad, la hipótesis de Rideout et al. (2008) parece confirmada. En nuestros datos, las áreas con quemas prescritas tenían menos daños a la propiedad por incendios forestales. Esto puede sugerir enfatizar la reducción de combustible en las áreas de la IFU, ya que los beneficios primarios de tales proyectos de reducción de combustible es reducir los daños a la propiedad en lugar de reducir los costos de supresión de incendios forestales. Pero esta evidencia debe ser revisada después de que los datos sobre la temporada de incendios forestales de 2016 estén disponibles, ya que el 2016 tuvo un número sustancial de hogares perdidos en comparación con lo que está en nuestro conjunto de datos.

Por supuesto, todas las conclusiones de la investigación están sujetas a limitaciones, y la nuestra no es una excepción. Como se señaló en la sección de datos, nos centramos en incendios de 300 acres o mayores, como nos dijo el personal de manejo de incendios, que era la mejor calidad de datos disponibles sobre los costos de supresión de incendios y que los datos de costos de supresión de fuegos menores no eran confiables. Es posible que con datos sobre un rango más amplio de tamaños de incendios (por ejemplo, incendios de 50 acres y más) puede haber un efecto más de los tratamientos de combustible de pre-supresión en la reducción de los costos de supresión de incendios.

Además, los resultados actuales de la investigación también sugieren una nueva hipótesis. Específicamente, esos efectos potenciales de los tratamientos de combustible de pre-supresión pueden evitar que pequeños fuegos crezcan en más grandes y más caros para controlar los incendios. Desafortunadamente no tenemos datos para probar esta hipótesis, pero parece que esto puede ser una vía importante para futuras investigaciones, si la calidad de los datos de incendios pequeños se mejora en el futuro

## Referencias

- Bostwick, P., J. Menakis, T. Sexton.** 2011. How Fuel Treatments Saved Homes from the Wallow Fire. [http://www.fs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb5320347.pdf](http://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5320347.pdf)
- GAO (Government Accountability Office).** 2015. GAO-15-772 Wildland fire Management.
- Gebert, K.M., D.E. Calkin, J. Yoder.** 2007. Estimating suppression expenditures for individual large wildland fires. *Western Journal of Applied Forestry* 22(3): 188-196.
- Gude, P.H., K.L. Jones, R. Rasker, M.C. Greenwood.** 2013. Evidence for the effect of homes on wildfire suppression costs. *International Journal of Wildland Fire* 22(4): 537-548.
- Gude, P.R. Rasker, M. Essen, M. Delorey, M. Lawson.** 2014. An empirical investigation of the Effect of the Firewise Program on Wildfire Suppression Costs. *Headwaters Economics*, Bozeman MT.
- Hamilton, B.A.** 2015. 2014 Quadrennial Fire Review: Final Report. Fire & Aviation management, USDA Forest Service and Office of Wildland Fire, Department of Interior.
- Omi, P.N.** 2008. Evaluating tradeoffs between wildfires and fuel treatments. In González-Cabán, A. technical coordinator, Proceedings of the second symposium on fire economics, policy and planning: a global view, Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-208, Albany, CA: U.S. Dept. Agriculture, Pacific Southwest Research Station, 19-22 April 2004, Córdoba, Spain pp: 485-494.
- Rideout, D., Y. Wei, A. Kirsch, and S. Botti.** 2008. Toward a Unified Economic Theory of Fire Program Analysis with Strategies for Empirical Modeling. In *The Economics of Forest Disturbances*, edited by T Holmes, J. Prestemon and K. Abt. Springer.
- Scofield, A., B. Rashford, D. McLeod, R. Coupal, S. Lieske and S. Albeke.** 2015. Residential Development on Firefighting Costs in the Wildland Urban Interface. Ruckelshaus Institute, University of Wyoming, Laramie, WY.
- Thompson, M. and N. Anderson.** 2015. Modeling Fuel Treatment Impacts on Fire Suppression Cost Savings: A Review. *California Agriculture* 69(3): 164-170.
- Yoder, J. and P. Ervin.** 2012. County-level Effects of Fuel Treatments, WUI Growth, and Weather Changes on Wildfire Acres Burned Suppression Costs. School of Economic Sciences, Washington State University.

# **Análisis de Costo de Reducción de Combustible de Incendios Forestales: Modelado Estadístico y Modelo de Usuario Para Especialistas en Incendios en California<sup>1</sup>**

**John Loomis<sup>2</sup>, Sam Collie<sup>2</sup>, Armando González-Cabán<sup>3</sup>, José J. Sánchez<sup>3</sup>, Douglas Rideout<sup>4</sup>**

## **Resumen**

Esta investigación ofrece a los especialistas en incendios forestales herramientas para estimar el costo de la conducción de varios tipos de tratamientos de combustible de incendios forestales. La variable dependiente en la regresión de costos es lo que el Servicio Forestal del USDA llama Costo Directo Planificado por acre. Las variables independientes incluyeron la configuración en la que se llevó a cabo el tratamiento de combustible (por ejemplo, la interfaz forestal urbana (IFU) y el área metropolitana), acres del tratamiento y la actividad específica de reducción de combustible. Los datos primarios para el análisis provienen del Sistema de Actividades de Servicios Forestal (SASF). Se estimaron modelos separados para las actividades relacionadas o realizadas como parte de los proyectos de reducción de combustibles prescritos y para las actividades de reducción mecánica de combustible. Además, California se divide en dos Centros de Coordinación de Áreas Geográficas (CCAG): CCAG de California del Sur y California del Norte. No es sorprendente que los costos de realizar la quema prescrita y la reducción mecánica de combustible sean más altos en las áreas IFU y en las áreas metropolitanas donde los costos laborales son más altos. El poder explicativo ( $R^2$ ) de los modelos es del 12% al 24%. Se ha creado un programa de hoja de cálculo Excel para permitir a los gerentes utilizar fácilmente los cuatro modelos de regresión para estimar el costo de cualquier programa específico de tratamiento de combustible en el territorio. El usuario selecciona hasta tres tratamientos de combustible SASF que se proponen, ya sea que el tratamiento de combustible esté en el CCAG del norte o sur de California, luego el condado específico del tratamiento y si el tratamiento propuesto está en un área de IFU. Basándose en esta selección, el modelo de hoja de cálculo

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto Simposio Internacional sobre Economía, Planificación y Política de Incendios: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Profesor y exalumno de posgrado, Departamento de Economía Agrícola y de Recursos, Universidad Estatal de Colorado, Fort Collins, CO 80523; Correo electrónico: John.Loomis@colostate.edu

<sup>3</sup> Economista de Investigación y Estadístico de Investigación respectivamente, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Riverside, CA 92507.

<sup>4</sup> Profesor, Departamento de Ciencias Forestales y Cuencas, Universidad Estatal de Colorado, Fort Collins, CO 80523

utiliza el modelo de regresión respectivo para proporcionar una estimación del costo por acre para cada actividad del SASF y el costo total del tratamiento que refleja el número de acres del proyecto que el usuario ha especificado previamente. La hoja de cálculo suma los costos para cada actividad del SASF que implicaría el proyecto general de tratamiento de combustibles. El modelo ha sido "probado" con especialistas en incendios en California, quienes consideraron que fue una herramienta útil para ayudar a estimar los costos de los proyectos de reducción de combustible.

Palabras clave: California, costo de reducción mecánica de combustible, costo de la quema prescrita

## **Introducción y Objetivos**

Los tratamientos de combustible son cada vez más vistos como un medio para reducir la gravedad de los incendios forestales, y hacer que estos fuegos sean más fáciles de controlar y suprimir. Un objetivo secundario es reducir los daños a la propiedad y las vidas perdidas debido a los incendios forestales. Si bien estos son objetivos deseables de un programa de tratamiento de combustible, la quema prescrita y la reducción de combustible mecánica son costosas de llevar a cabo. Como tal, tienen que ser presupuestados. Para presupuestarlos, es necesario contar con algún método sistemático para estimar los costos.

El objetivo general de este proyecto de investigación es proporcionar a los administradores forestales y especialistas en incendios forestales herramientas para estimar el costo de la conducción de varios tipos de tratamientos de combustible de incendios forestales. En concreto, esta investigación proporciona:

(a) análisis estadístico de los datos del Servicio Forestal del USDA para desarrollar un modelo de estimación de costos; y (b) un modelo de hoja de cálculo impulsado por macros que es amigable con el usuario basado en el análisis estadístico para el uso fácil en campo del Servicio Forestal del USDA.

## **Análisis estadístico de costo del tratamiento mecánico del combustible y de la quema prescrita**

Dado que nuestro objetivo principal con este modelo era dar a los gerentes una herramienta de estimación de costos en California, nuestro análisis fue guiado por un cierto grado de pragmatismo. Si bien el modelo tenía que ser conceptualmente correcto y consistente con la literatura pasada, también tenía que proporcionar una estimación tan precisa del costo por acre consistente con los datos del Servicio Forestal del USDA. Por lo tanto, esto es investigación aplicada, no un intento de avanzar los métodos

econométricos utilizados para estimar los costos de tratamiento de reducción de combustible. El lector debe tener esto en cuenta en la discusión que sigue.

## **Especificaciones iniciales del modelo**

Guiada por la revisión de la literatura (González-Cabán y McKetta, 1986, Rideout y Omi, 1995, Wood, 1998), se especificó un modelo de regresión múltiple inicial. La variable dependiente fue la que el Servicio Forestal del USDA denominó Costo Directo Planificado por acre en su conjunto de datos. Las variables independientes incluyeron el ajuste en el que se llevó a cabo el tratamiento de combustible (por ejemplo, IFU y área metropolitana), acres del tratamiento y cada actividad SASF.

**IFU:** si la actividad se produjo en o adyacente a "... un área o zona donde las estructuras u otro desarrollo humano se encuentran o se entremezclan con tierras silvestres o combustibles vegetativos no desarrollados" (Manual SASF, página 39). El signo esperado es positivo (es más caro realizar actividades en el área de la IFU debido a la precaución adicional necesaria). Específicamente, la variable IFU significa que el área de tratamiento de combustible está en un área de Interfaz Forestal-Urbana. Usando el menú desplegable el usuario selecciona si está en una IFU (Sí) o no (No). Si un área de tratamiento de combustible incluye ambos, entonces el programa se debe ejecutar dos veces: una vez con las hectáreas en la IFU y una vez con las hectáreas que no están en IFU. El costo total del tratamiento es la suma de los costos en las áreas IFU y no-IFU.

**Condado metropolitano:** Una variable "dummy" que toma el valor 1 para los condados urbanos, o cero sino es creada usando el nombre del condado en la base de datos SASF. Esta designación se basó en la clasificación del Servicio de Investigación Económica del USDA de las áreas económicas. La razón de esta variable es que el costo por acre de tratamiento de combustible suele estar influenciado por si el área de tratamiento se encuentra en un área metropolitana donde los salarios son más altos. El usuario selecciona el condado que contiene el tratamiento de combustible en el menú desplegable y, a continuación, la variable si el condado está en un área metropolitana o no se establece en 1 o 0 automáticamente para el usuario. Al igual que con la IFU, si el área de tratamiento abarca dos condados, el modelo de usuario debe ejecutarse dos veces, una vez con la cantidad de acres en un condado y otra vez con las hectáreas en el otro condado. El costo total del tratamiento es la suma de los costos en los condados metropolitanos y no metropolitanos.

**Acres:** El número de acres efectivamente tratados por la actividad

## Datos

Los datos primarios para el análisis provienen del Sistema de Actividades de Servicios Forestales (SASF). Este sistema cubre todos los códigos de trabajo rutinariamente utilizados por el Servicio Forestal del USDA. De la gran lista de actividades disponibles en el SASF, se utilizó la especificación del modelo anterior y la literatura para solicitar un subconjunto de todas las variables. Además, las variables que a menudo fueron codificadas como texto se recodificaron a valores numéricos. Otras variables incluyeron el Agente de Trabajo y el Guardabosque de Distrito. Esto resultó en 25 variables. Para el análisis preliminar se consideraron los siguientes códigos de actividad relacionados con el combustible en el sentido de que una o más de estas actividades se llevaron a cabo como parte de proyectos de reducción de combustible. La Tabla 1 en la siguiente página proporciona una breve definición de las actividades del SASF en el Modelo de Usuario. Las descripciones detalladas de estas variables se pueden encontrar en la Guía del Usuario del SASF (Servicio Forestal del USDA, 2013; <http://fsweb.nrm.fs.fed.us>).

Después de revisar los conjuntos de datos iniciales hubo una cantidad significativa de discusión acerca de algunas preocupaciones con los datos. Algunos costos por acre se reportaron como cero. Hubo una cantidad significativa de discusión acerca de si estos eran simplemente marcadores de posición ingresados en el programa, ya que no parecía probable que la actividad en particular tuviera costos cero. También hubo un gran número de costos que fueron de \$ 1 por acre. El consenso fue dejar caer estas observaciones con costos cero y costos de \$ 1 por acre, ya que no es probable que reflejen los costos reales incurridos. En el extremo superior del espectro algunos costos por acre eran más de cinco desviaciones estándar. Hubo algunos costos que fueron incluso diez desviaciones estándar de los costos medios. A cinco desviaciones estándar de la media el costo fue de \$ 1818 por acre. A diez desviaciones estándar de la media, el costo fue de \$ 3843 por acre, con el siguiente costo más alto siendo más de \$ 1,000 más alto que \$ 3843. Se tomó la decisión de cortar los costos a 10 desviaciones estándar de la media (\$ 3843). Esto resultó en la pérdida de apenas 15 observaciones (0.1% de la muestra).

Tabla 1. Listado de ID del SASF Relacionados con el Combustible Considerado para el Análisis Estadístico

| <b><u>ID SASF</u></b> | <b><u>Nombre de Actividad</u></b>            |
|-----------------------|--|
| 1111                  | Quema por Emisión                            |
| 1112                  | Quema "Jackpot"                              |
| 1113                  | Quema de Baja Intensidad Baja                |
| 1120                  | Combustibles Removidos por Jardinería        |
| 1130                  | Quema de Material Apilado                    |
| 1131                  | Pila de Cubierta de Cepillo a Quemar         |
| 1136                  | Poda para Levantar la Cubierta               |
| 1150                  | Combustibles Reorganizados                   |
| 1152                  | Combustibles Compactos/Reducidos             |
| 1153                  | Pila de Combustibles Manual/Mecánico         |
| 1154                  | Combustible de Astillas                      |
| 1160                  | Adelgazamiento de Combustibles               |
| 1180                  | Rompimiento de Combustible                   |
| 2360                  | Rango de Control de Vegetación               |
| 2370                  | Rango de Pila de Cortado                     |
| 2530                  | Invasivo-Mecánico                            |
| 4220                  | Adelgazamiento Comercial                     |
| 4231                  | Corte de Salvamento (Tratamiento Intermedio) |
| 4455                  | Preparación de Corte de Pre-Sitio            |
| 4471                  | Prep. del Sitio para la Siembra-Quemada      |
| 4474                  | Prep. del Sitio para la Siembra-Mecánica     |
| 4475                  | Prep. del Sitio para la Siembra-Manual       |
| 4511                  | Liberación de Árboles y Malezas              |
| 4521                  | Adelgazamiento Pre-Comercial                 |
| 4530                  | Poda   |
| 4540                  | Control para la Vegetación del Sotobosque    |
| 6101                  | Quema RX del hábitat de la fauna             |
| 8000                  | Actividades de Insectos y Enfermedades       |
| <u>10100</u>          | <u>Otras actividades</u>                     |

Una descripción detallada de estas variables puede encontrarse en la Guía del Usuario del SASF (Servicio Forestal del USDA, 2013; <http://fsweb.nrm.fs.fed.us>)

## Estrategias de Modelación de Regresión

Dado el pequeño tamaño de las muestras para algunas de las actividades de reducción de combustible, se realizó un análisis exploratorio sobre si se debían estimar regresiones separadas para las actividades del SASF para las que había tamaños mínimos de muestra (por ejemplo,  $n > 20$ ) o juntar los datos en varias actividades y estimar un modelo con interceptores para cada actividad. Sólo cuatro actividades del SASF tuvieron un tamaño de muestra superior a 100 (pilas de combustibles, adelgazamiento pre-comercial, reordenamiento de combustibles y trituración de combustibles) y sólo cuatro tuvieron tamaños de muestra entre 77 y 99 (preparación del sitio, liberación de árboles y malezas, jardinería y combustible de astillas). Si se realizaran regresiones individuales del nivel de actividad, se consideraría que no hay suficientes grados de libertad para incluir actividades con muestras mucho más pequeñas. Por lo tanto, la estimación de un modelo con todas las actividades incluidas y la distinción de las actividades por los desplazadores del intercepto tuvo varias ventajas: (a) permitir inicialmente la inclusión de todas las actividades; (b) probar si hubo diferencia estadística en el costo por acre por actividad; (c) mayor poder explicativo y predictivo; mayor  $R^2$ . Dadas estas ventajas, se decidió ir con el modelo combinado.

Dos modelos separados de agrupamiento se estimaron. Uno para las actividades relacionadas o conducidas como parte de los proyectos prescritos de reducción de combustibles y uno para las actividades de reducción de combustible mecánico. Además, California está dividida en las áreas geográficas del CCAG del Sur de California y del CCAG del Norte de California (CCAG significa Centros de Coordinación de Área Geográfica, cada una de las cuales es responsable de los esfuerzos de incendios forestales en sus respectivas regiones). Un análisis estadístico de un modelo de estado único versus dividir el estado en el norte y el sur mostró que los modelos separados fueron estadísticamente superiores. Así, los costos del tratamiento varían sistemáticamente entre el norte y el sur de California. Por lo tanto, tenemos un total de cuatro regresiones individuales: dos para los CCAG del Norte y dos para los CCAG del Sur. Cada región tiene un modelo para la reducción de combustible de quema prescrita y un modelo para el tratamiento de combustible mecánico.

En el modelo de tratamiento de quema de combustibles, la actividad del SASF 1111 Quema por Emisión es usada como actividad de referencia y no se calcula explícitamente un coeficiente separado. Sin embargo, como no hay constante en el modelo, Quema por Emisión es esencialmente la constante. Por lo tanto, todos los coeficientes de costo de la actividad del SASF se miden en relación con la Quema por Emisión. El modelo de usuario agrega o resta automáticamente (dependiendo del signo del otro coeficiente de Actividad SASF) el costo de esa actividad en particular a partir del costo promedio por la Quema por Emisión (\$ 231 Costo Planeado por acre).

## **Resultados estadísticos**

La Tabla 2 presenta los resultados para los cuatro modelos que corresponden al Sur de California (modelos 1 y 2 para la quema prescrita y la reducción mecánica del combustible, respectivamente) y el norte de California (modelos 3 y 4 para la quema prescrita y reducción mecánica del combustible, respectivamente).

La variable dependiente es el logaritmo natural de los costos por acre para permitir la no linealidad en los costos por acre. El caso base para los modelos de quema prescrita 1 y 3 es la actividad 1111 del SASF (quema por emisión). Entonces, cuando todas las otras variables de actividad se ponen a cero, el modelo calcula el costo por acre de la quema por emisión (el programa de la hoja de cálculo en la Sección 3 explica esto automáticamente). Del mismo modo, la actividad omitida para la reducción mecánica del combustible es la actividad SASF 1130 (quema de material apilado).

Los resultados (signo negativo en el coeficiente del LN de acres tratados) sugieren que en tres de las cuatro regresiones que el costo por acre disminuye ligeramente a medida que aumenta el número de acres tratados. Por lo tanto, hay un ligero grado de escalas de economía para la quema prescrita y la reducción mecánica de combustible en el norte de California. No es sorprendente que los costos de realizar la quema prescrita y la reducción mecánica del combustible sean más altos en las áreas IFU, y en las áreas metropolitanas donde los costos laborales son más altos. El poder explicativo de los modelos es más bajo de lo deseable (alrededor del 12% al 24% de la variación en los costos por acre se explica por las variables independientes en los modelos). Atribuimos gran parte del bajo poder explicativo al "ruido" en los datos de costos de tratamiento del SASF, que como se mencionó en la sección anterior no siempre parecen ser precisos. Mientras que eliminamos "datos internos" (obviamente incorrectos \$ 0 y \$ 1 de costo por acre) y valores extremos con 0.1% de observaciones con costos de más de 10 desviaciones estándar de la media, los datos tienen una gran variación que no podría explicarse por la actividad en particular y si se produjo en la IFU o un área metropolitana.

Tabla 2. Regresiones Múltiples de Costos de Tratamiento de Combustible por Acre en el Norte y el Sur de California. Variable Dependiente: LN de Costos por Acre.

| VARIABLES                               | (1)                    | (2)                  | (3)                   | (4)                    |
|---|------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
|   | Quema RX Sur           | Mec Sur              | Quema RX Norte        | Mec Norte              |
| LN de acres tratados (errores estándar) | -0.0694***<br>(0.0130) | 0.0138<br>(0.0137)   | -0.0637**<br>(0.0248) | -0.0544***<br>(0.0132) |
| IFU                                     | 0.170***<br>(0.0409)   | 0.466***<br>(0.0393) | 0.366***<br>(0.0635)  | 0.273***<br>(0.0355)   |
| Metropolitanas                          | 0.547***<br>(0.0430)   | 0.447***<br>(0.0398) | 0.481***<br>(0.116)   | 0.339***<br>(0.0716)   |
| 1131.actividad                          |                        | -1.184**<br>(0.461)  |                       | -1.615***<br>(0.203)   |
| 1136.actividad                          |                        | 0.761***<br>(0.143)  |                       | -0.117<br>(0.132)      |
| 1150.actividad                          |                        | 0.212**<br>(0.0910)  |                       | 0.204*<br>(0.124)      |
| 1152.actividad                          |                        | 1.229***<br>(0.0924) |                       | 0.0424<br>(0.108)      |
| 1153.actividad                          |                        | 0.329***<br>(0.0773) |                       | 0.181**<br>(0.0809)    |
| 1154.actividad                          |                        | 0.343***<br>(0.0966) |                       | -0.0859<br>(0.123)     |
| 1160.actividad                          |                        | 0.295***<br>(0.0799) |                       | 0.242***<br>(0.0891)   |
| 1180.actividad                          |                        | 0.523**<br>(0.203)   |                       | 0.426***<br>(0.138)    |
| 2360.actividad                          |                        | -0.863***<br>(0.238) |                       |                        |
| 2370.actividad                          |                        | 0.0598<br>(0.143)    |                       |                        |
| 4220.actividad                          |                        | 0.782***<br>(0.0907) |                       | 0.0764<br>(0.0959)     |
| 4231.actividad                          |                        | 0.382*<br>(0.217)    |                       | -0.183<br>(0.171)      |
| 4331.actividad                          |                        | -0.966***<br>(0.164) |                       |                        |
| 4474.actividad                          |                        | -0.0215<br>(0.329)   |                       | 0.941***<br>(0.162)    |
| 4511.actividad                          |                        | 0.743***<br>(0.133)  |                       | 0.210*<br>(0.117)      |
| 4521.actividad                          |                        | 0.475***<br>(0.0769) |                       | 0.224***<br>(0.0794)   |
| 4530.actividad                          |                        | -0.442***<br>(0.167) |                       | -0.409<br>(0.310)      |
| 4540.actividad                          |                        | 0.850***<br>(0.290)  |                       | 0.543***<br>(0.165)    |
| 1112.actividad                          | -0.926***<br>(0.127)   |                      | -0.319<br>(0.319)     |                        |
| 1113.actividad                          | -0.333***<br>(0.106)   |                      | 0.414**<br>(0.181)    |                        |

|                |                       |                      |                     |                      |
|----------------|-----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1130.actividad | -0.550***<br>(0.0884) |                      | -0.433**<br>(0.169) |                      |
| 6101.actividad | -1.424**<br>(0.707)   |                      | 0.347<br>(0.290)    |                      |
| 4471.actividad |                       |                      | -0.0811<br>(0.291)  |                      |
| 2530.actividad |                       |                      |                     | 0.997***<br>(0.175)  |
| 4455.actividad |                       |                      |                     | 0.431**<br>(0.203)   |
| 4475.actividad |                       |                      |                     | 0.354**<br>(0.140)   |
| 4494.actividad |                       |                      |                     | 1.161***<br>(0.208)  |
| Constante      | 5.351***<br>(0.0993)  | 4.621***<br>(0.0856) | 4.772***<br>(0.188) | 5.290***<br>(0.0846) |
| Observaciones  | 1,238                 | 2,135                | 1,018               | 2,408                |
| R-cuadrada     | 0.168                 | 0.243                | 0.121               | 0.136                |

\*\*\* es significativo al nivel del 99%, \*\* es significativo al nivel del 95%,

\* es significativo al nivel del 10%.

## Programa de estimación de costos de usuario

Se ha creado un programa de hojas de cálculo Excel (versión 2007 o posterior) para permitir a los administradores utilizar fácilmente los cuatro modelos estimados anteriormente para estimar el costo de un programa de tratamiento de combustible.

Para iniciar el análisis, el primer paso es abrir Excel y seleccionar Abrir Archivo y abrir el archivo Estimador de Costos de Tratamiento contra Incendios. Una vez que el archivo se haya cargado, el usuario debe tener una hoja de cálculo que se vea como la Figura 1 en la página siguiente. En general, **las áreas blancas son las que el usuario rellena usando menús desplegable en el lado derecho de cada celda.** El área sombreada gris debajo de las celdas de entrada blancas es el área de resultados que muestra los Costos por Acre y Total del tratamiento. En el ejemplo, el tratamiento de combustible que se propone está en la región geográfica del CCAG del sur de California, el Condado es Mono y el tratamiento propuesto no está en una IFU. En este ejemplo, se han seleccionado tres actividades de tratamiento de combustible SASF, cada una con diferentes acres. Dada esta entrada, los costos se calculan y se muestran en las celdas grises.

| Region 5: California                  |                                     | Regression Model       |  |
|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--|
| START HERE (Enter these fields first) |                                     |                        |  |
| ↓↓↓↓                                  |                                     |                        |  |
| GACC                                  | South                               |                        |  |
| County                                | Mono County                         |                        |  |
| Wildland Urban Interface              | No                                  |                        |  |
|                                       | Activity Name                       | Acres Treated          |  |
| Activity Treatment #1                 | 1113 Underburn, Low Intensity       | 200                    |  |
| Activity Treatment #2                 | 1136 Pruning to Raise Canopy Height | 1000                   |  |
| Activity Treatment #3                 | 4521 Precommercial Thin             | 10                     |  |
|                                       | Per-Acre Costs:                     | Total treatment costs: |  |
| Activity Treatment #1                 | \$134                               | \$26,758               |  |
| Activity Treatment #2                 | \$389                               | \$389,273              |  |
| Activity Treatment #3                 | \$274                               | \$2,742                |  |
| All treatments                        | \$797                               | \$418,773              |  |

**Figura 1.** Captura de pantalla de la Interfaz de la Hoja de Cálculo para el Estimador de Costo del Tratamiento de Combustible R5

Para configurar los valores de entrada, el especialista en incendios usa el menú desplegable en el lado derecho de cada celda blanca. Para que el indicador del menú desplegable sea visible, el usuario debe hacer clic en esa celda de entrada y, a continuación, a la derecha de la celda, aparecerá el triángulo indicador del menú desplegable. El desplegable está indicado por una caja cuadrada con un triángulo hacia abajo en ella (▼). El triángulo desplegable sólo aparece cuando hace clic en la celda, de lo contrario no es visible. Hay seis celdas de entrada. Estas áreas:

- Si el proyecto se encuentra en el CCAG del norte de California o en el sur de California. El menú desplegable tiene Norte o Sur como las opciones.
- Condado. El menú desplegable muestra una lista de condados en ese CCAG. El programa entonces automáticamente (sin ninguna exhibición separada) liga si el condado en ese CCAG se considera un condado metropolitano o no.
- Si el proyecto se encuentra en una zona de Interfaz Forestal-Urbana (IFU) o no. El menú desplegable es simplemente Sí o No
- Entonces, el usuario especifica hasta tres actividades de tratamiento de combustible en una lista desplegable de actividades del SASF.
- Estas actividades pueden ser totalmente quema prescrita, reducción mecánica o una combinación de ambas. El programa selecciona el conjunto apropiado de coeficientes de la variable de actividad SASF para llevar a cabo los cálculos.

- Entonces, el usuario proporciona el número de hectáreas en las que se realizará cada Actividad SASF. Cada actividad puede tener un número diferente de acres.

Basando en esta selección, el modelo de la hoja de cálculo selecciona el coeficiente apropiado del modelo estadístico apropiado para proporcionar una estimación del costo por acre para cada actividad del SASF y el costo total del tratamiento que refleja el número de acres del proyecto que el usuario ha especificado previamente. La hoja de cálculo suma los costos para cada actividad del SASF que implicaría el proyecto general de tratamiento de combustibles.

## **Conclusión**

El objetivo de esta investigación fue proporcionar un manejo de incendios con una herramienta sencilla para estimar el costo de los tratamientos de combustible. Para lograr este objetivo, se desarrolló un estimador de los costos en una hoja de cálculo, cuya base es un modelo de regresión múltiple. Para desarrollar el modelo de regresión de los costos de los tratamientos de combustible en California, obtuvimos los datos de costos de tratamiento de combustible del Servicio Forestal del USDA SASF para California. Estos datos se "limpiaron" primero de errores obvios tales como tratamientos de combustible cuyos costos se reportaron como cero o un dólar por acre. En el otro extremo se encontraban algunos costos de tratamiento de combustible por acre que reportaron ser más de 10 desviaciones estándar de la media (por ejemplo, alrededor de 10 observaciones tenían costos un poco más de \$ 4,000 por acre). Con un conjunto de datos limpio, estimamos cuatro modelos de costos combinados de tratamiento de combustible:

- Quema prescrita en el norte de California
- Quema prescrita en el sur de California
- Tratamiento mecánico de combustible en el norte de California
- Tratamiento mecánico de combustible en el sur de California

En general, estos modelos son razonablemente buenos modelos estadísticos de los factores que influyen en los costos de la quema prescrita y la reducción mecánica de combustible. En particular, en los cuatro modelos los costos de tratamiento aumentaron en la IFU y en los condados metropolitanos (es decir, costos laborales más altos). Hubo un pequeño grado en las economías de escalas, ya que el coeficiente de costo fue negativo y estadísticamente significativo en tres de las cuatro regresiones de costos.

Cada una de estas ecuaciones se programó en una hoja de cálculo Excel (2007 o posterior) basada en macros que fue diseñada para ser fácil de usar por los especialistas en incendios.

Si el tratamiento de combustibles sería en el norte o el sur de California

- El condado donde se ubicaría el tratamiento de combustible (se proporciona una lista desplegable)
- Si el tratamiento de combustible se ubicaría en una IFU
- Hasta tres actividades de tratamiento de combustible SASF. Estos pueden ser cualquier combinación de tres tratamientos mecánicos o quema (se proporciona una lista desplegable)
- Acres de cada tratamiento (pueden ser diferentes o iguales para cada actividad de tratamiento de combustible).

Después de ingresar estos datos, el programa calcula automáticamente los costos por acre de cada actividad de tratamiento y el costo total de cada actividad de tratamiento y el costo total.

Sentimos que esta es una herramienta útil y un enfoque utilizable. Dependiendo de la recepción de los especialistas en incendios en cuanto a la utilidad de esta herramienta, se podría mejorar mediante la programación profesional en un programa más pulido. Además, podría ampliarse a otros CCAG en los EE.UU. Nuestra investigación preliminar sobre estas otras Regiones del Servicio Forestal del USDA indican que existen datos SASF similares, con problemas equivalentes de calidad de datos, que de hecho existen y son susceptibles al mismo tipo de análisis estadístico y por lo tanto del programa que se realiza aquí.

## Referencias

- González-Cabán, A. and C.W. McKetta.** 1986. Analyzing fuel treatment costs. *Western Journal of Applied Forestry* 1: 116-121.
- Rideout, D. and P. Omi.** 1995. Estimating the cost of fuels treatment. *Forest Science* 41(4): 664-674.
- USDA Forest Service.** 2013. FACTS User Guide. Available at: <http://fswweb.nrm.fs.fed.us>
- Wood, D. B. 1988.** Costs of prescribed burning in southwestern ponderosa pine. *Western Journal of Applied Forestry* 3(4): 115-119.

# **Factores Socioeconómicos que Afectan a los Incendios Forestales: Un Estudio de Caso de Antalya, Turquía<sup>1</sup>**

**Ufuk Coşgun<sup>2</sup>, Ali Kavgacı<sup>3</sup>, Cumhuri Güngöroğlu<sup>4</sup>, Armando González-Cabán<sup>5</sup>**

## **Resumen**

La parte Mediterránea de Turquía (Sur y Oeste de Anatolia) está afectada intensamente por incendios forestales. De toda esta región la provincia de Anatolia es la primera en término de área quemada con un promedio anual de 2633 ha para el periodo del 2000-2009. Además, en el 2008 el incendio forestal más grande en la historia de Turquía, afectando cerca de 15,000 ha, ocurrió en Anatolia. Los trabajos de manejo de incendios forestales reciben mucha atención en la región por su problema de incendios forestales. Esta situación hace necesario el observar y entender la estructura de y las razones de la ocurrencia de incendios forestales.

Los factores socioeconómicos son importantes para determinar las causas fundamentales de los incendios forestales. Por ejemplo, solo el 11% de todos los incendios en Turquía para los años del 2000-2009 fueron catalogados como de causas naturales (i.e., rayos). El restante 89% fueron catalogados como resultados de negligencia, intencionados, descuido, accidente o por causas indeterminadas. La mayoría de las causas están relacionadas estrictamente con factores socioeconómicos.

El objetivo principal de este trabajo fue el determinar la relación entre los incendios forestales y los factores socioeconómicos en Anatolia. La cobertura forestal en Anatolia es cerca de un millón de hectáreas manejadas por 12 empresas forestales gubernamentales. Las 12 empresas forestales proveyeron toda la información socioeconómica necesaria para realizar el estudio. Para el estudio se usó un total de 28 factores socioeconómicos para tres periodos: 1980-1990, 1990-2000, y 2000-2010; y estadísticas de incendios forestales para el periodo de 1980-2010. Para el estudio se usó información tipo panel.

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto Simposio Internacional sobre Economía, Planificación y Política de Incendios: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras. Solo el resumen disponible.

<sup>2</sup> Associate Professor, Forest Faculty, Karabuk University, Karabuk, Turkey.

<sup>3</sup> Southwest Anatolia Forest Research Institute, Pk 264, 07002, Muratpaşa, Antalya, Turkey.

<sup>4</sup> Associate Professor, Forest Faculty, Karabuk University, Karabuk, Turkey.

<sup>5</sup> Research Economist, Urban Ecosystem and System Dynamics Program, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, 4955 Canyon Crest Dr., Riverside, CA 92057 USA

Los resultados presentan una correlación significativa entre el área quemada y factores socioeconómicos como el porcentaje de la población trabajando en la agricultura y los sectores de servicio, la tasa de desempleo, la población y corta ilegal de madera. De igual forma el número de incendios muestra una correlación estadística significativa con la proporción de la población trabajando en los sectores de servicio, la población, la corta ilegal de madera y el pastoreo. La relevancia de estos factores socioeconómicos es importante para el manejo de los incendios forestales en la región, y resalta la necesidad de su incorporación en cualquiera nueva política de manejo del fuego en la región y el país.

# **El Análisis Económico del Riesgo y la Elección bajo Incertidumbre en la Planificación del Paisaje en Relación con los Incendios Forestales<sup>1</sup>**

**Francisco Rodríguez y Silva<sup>2</sup>**

## **Resumen**

La toma de decisiones económicas en los programas de defensa contra incendios forestales y manejo del fuego no resulta fácil, cuando la misma se realiza bajo criterios de eficiencia. La determinación de variables a considerar y la carencia de datos analizados en relación con los resultados alcanzados por los planes de actuación adoptadas para reducir el impacto de los incendios, condicionan la adopción de soluciones estratégicas, tanto en gestión del paisaje frente a los incendios, como en las operaciones de supresión. Si ya de por sí, la decisión de cuánto, donde y como invertir los presupuestos de protección, resulta compleja, la elección en ambientes de riesgo e incertidumbre, viene sin duda a incrementar la dificultad en la búsqueda de las adecuadas soluciones.

La determinación de la función de utilidad esperada y la medición de la aversión al riesgo, aportan interesantes y avanzadas herramientas de diagnóstico que permiten comparar las respuestas que pueden proporcionar la aplicación de diferentes planes de actuación en el paisaje forestal y en función de los resultados obtenidos, seleccionar la mejor solución bajo escenarios de incertidumbre. La integración de variables que identifican la dificultad de extinción inicial que presenta el paisaje en estudio, así como la peligrosidad potencial de incendios forestales, y sus efectos en el cambio neto en el valor de los recursos por el impacto del fuego y los costes de extinción, ayudan a caracterizar el comportamiento de las funciones de utilidad esperadas. El presente trabajo analiza los resultados de diferentes funciones de utilidad y las compara con el fin de identificar la función de utilidad esperada con mejor capacidad explicativa, cuando se ha de elegir entre diferentes opciones de protección contra incendios bajo situaciones de incertidumbre generadas por el cambio climático, la probabilidad de ocurrencia, la influencia de comportamientos sociales, así como las diferentes

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y economía de los Incendios forestales: Servicios ambientales e Incendios forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Forestal. Laboratorio de Incendios Forestales. Universidad de Córdoba, Edificio Leonardo da Vinci, Campus de Rabanales, 14071, Córdoba, España. e-mail: ir1rosif@uco.es

capacidades de extinción, entre otros factores. La gestión de los combustibles forestales y las diferentes oportunidades de extinción en función de las combinaciones de medios de supresión, pueden ser tratadas desde el enfoque de la elección de soluciones estratégicas en escenarios de incertidumbre. Los modelos SINAMI (Rodríguez y Silva, González-Cabán. 2010) y Visual-SEVEIF (Rodríguez y Silva, et al. 2014), proporcionan los datos de partida para la toma de decisión y elección de soluciones bajo incertidumbre en el paisaje forestal.

Palabras clave: Riesgo, incertidumbre, planes operacionales, supresión, costes de extinción, cambio neto en el valor de los recursos

## Introducción

Las acciones de defensa contra los incendios forestales, incluidas en el marco de los programas de actuaciones en el paisaje, han ido evolucionando con el tiempo. Los avances en la ciencia de la dinámica de las propagaciones espaciales del fuego en los escenarios forestales, y el mejor conocimiento de sus consecuencias en términos de severidad, daños ecológicos, económicos y servicios ambientales, han permitido de forma progresiva ir acomodando las actuaciones de defensa a tenor de los avances en el conocimiento adquirido y la experiencia aprendida.

No obstante, la complejidad de los escenarios forestales, de igual modo, también ha sufrido modificaciones a lo largo de los últimos 50 años con mayor o menor intensidad en los países con mayor incidencia de incendios. En efecto, los cambios socioeconómicos y demográficos, por una parte y por otra la compleja acumulación de biomasa vegetal en óptimas condiciones para la ignición y posterior propagación, sujetas a severas condiciones meteorológicas, vienen generando una amplia muestra de paisajes forestales y paisajes mixtos urbano-forestal, en los que los modelos tradicionales de gestión de la defensa no alcanzan a dar una respuesta en términos de eficacia y seguridad.

En este marco de realidades, la toma de decisión se vuelve compleja e incierta (Minas et al. 2012). Además, los importantes requerimientos presupuestarios para disponer y gestionar los medios de extinción, incorporan factores y variables que hacen aún más difícil desarrollar acciones que se encuentren en la senda de la eficiencia (Rodríguez y Silva, González-Cabán. 2016). Indiscutiblemente sobre la toma de decisión, tanto a la hora de realizar cambios estratégicos en el paisaje a fin de una mejor ordenación de los combustibles forestales y en la gestión de una determinada emergencia, superada a la elección de planes de actuación, la

incertidumbre es un factor que condiciona las decisiones sobre la elección de la solución idónea.

La responsabilidad en la búsqueda de la solución, genera en el sujeto que ha de decidir finalmente la respuesta al problema (por ejemplo la elección de una determinada combinación de recursos en número y clases para una concreta acción de extinción) posturas que pueden estar caracterizadas por presentar una mayor o menor aversión al riesgo. A veces, la solución con mayor riesgo puede conllevar el pago de un resultado de alta eficiencia, pero la incertidumbre de lo que ocurrirá y de que formas las variables en juego condicionarán o afectarán a la solución escogida reduce las probabilidades de escoger tal respuesta a la emergencia.

Por otra parte con frecuencia, la elección de las soluciones en ambiente de incertidumbre (como se caracterizan la actuaciones de supresión y extinción de incendios), suelen estar alejadas de modelos de decisión apoyados en fundamentos de predicción económica y optimización de rendimientos. En parte por la falta de conocimientos en estas disciplinas y por otra, condicionado por el reducido desarrollo y disponibilidad de modelos que en materia de gestión de incendios forestales proporcionen un horizonte de soluciones en ambiente de incertidumbre. La adopción de soluciones sigue estando basada en la experiencia empírica de los actores.

El trabajo que se presenta abre una línea de búsqueda de soluciones modeladas y fundamentadas en principios de eficiencia económica con el fin de generar aportaciones conceptuales y herramientas que reduciendo la incertidumbre, ofrezcan de forma progresiva un catálogo de soluciones que incrementen la eficacia y reduzcan los costes de las operaciones de extinción y de manejo del fuego (Rodríguez y Silva, González-Cabán, 2016).

## **Material y métodos**

La mayor parte de las elecciones que han de ser tomadas, tanto en la elaboración como en el desarrollo de los programas de defensa contra incendios forestales, no están exentas de incertidumbre, entre algunas se pueden citar la elección del tipo y número de helicópteros de acuerdo a su capacidad de extinción en función de los escenarios de comportamiento del fuego, la mayor o menor presencia de turbulencias y comportamientos erráticos del viento en las proximidades de los frentes de fuego, o los resultados finales de determinada acción de combate para frenar la propagación de un determinado sector de propagación. Además, detrás del conjunto de decisiones, también existen criterios de carácter económico que en

función de las decisiones que se puedan adoptar, representan consecuencias en los incrementos de los costes y generación de gastos extraordinarios.

Por todo ello, el objetivo de la modelización de algoritmos de ayuda a la toma de decisión, han de ir dirigidos a reducir en la medida de lo posible la incertidumbre (Minas et al. 2012), generando entornos de trabajo en los que la variabilidad de los parámetros que inciden en la toma de soluciones y respuestas, se encuentren en parte convertidos por la información que aportan en el marco de la certidumbre.

Haciendo uso de las experiencias derivadas de los fundamentos teóricos de la “la teoría de la elección bajo incertidumbre” (Gollier, 1999), se pueden encontrar respuestas tras la definición y valoración individual del riesgo. Ello supone el alcanzar un grado de conocimiento del escenario en el que la decisión a tomar, varía de acuerdo a la mayor o menor disponibilidad de los actores a exponerse al riesgo y sus consecuencias.

La metodología seguida en el desarrollo del presente trabajo, responde a un proceso de integración de bloques temáticos que permiten comprender a través de la interconexión entre ellos, los fundamentos que facilitan la reducción de la incertidumbre en la elección de respuestas estratégicas (figura nº1).

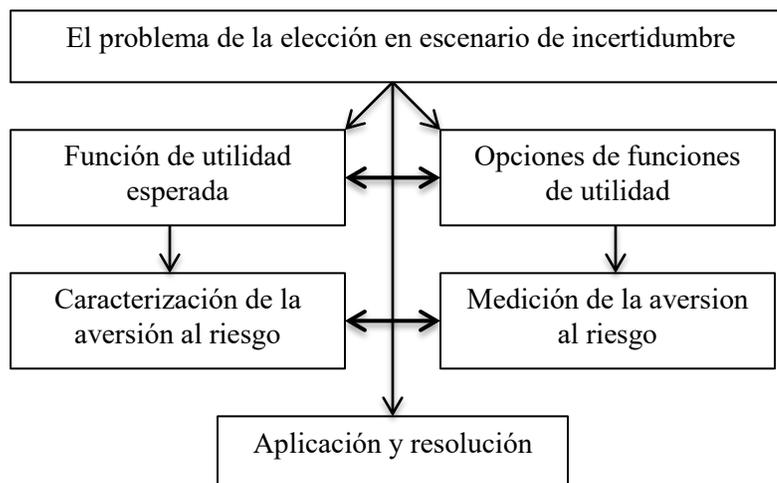


Figura 1. Integración de bloques temáticos que facilitan la reducción de la incertidumbre en la elección de respuestas estratégicas

### 1.- Función de utilidad esperada

En los escenarios de incertidumbre, las posibilidades de elección de los actores se presenta condicionada por factores ajenos a los propios decisores. Al conjunto de escenario de incertidumbre donde los actores no tienen factores concretos de control, reciben la denominación de “*estados de la naturaleza*” (Variant, 2005). Por otra

parte es importante indicar que conceptualmente, las influencias y/o efectos de carácter positivo (beneficios) o negativos (impactos y deterioros), dependen de los criterios preferenciales de los actores y de cómo puedan influenciar al resultado.

Un estado de la naturaleza se puede definir como la descripción de un determinado resultado de la incertidumbre. Representando por (E), como el conjunto formado por todos los estados de la naturaleza posibles, y por (e) un elemento finito del total de estados posibles, la probabilidad de que dicho estado se pueda dar será  $p(e)$  y la misma por definición ha de cumplir que:

- a)  $P(e) \geq 0$
- b)  $\sum_{e \in E} p(e) = 1$

A tenor de lo definido, la solución pasa por la determinación y construcción del plan contingente. Por éste se entiende el plan de consumo que viene a representar una concreta especificación sobre el número de unidades a consumir en cada uno de los estados de la naturaleza. En esencia, el plan de consumo contingente puede de igual forma ser definido como una variable aleatoria que toma un valor de respuesta con una probabilidad concreta.

En este sentido, si una determinada decisión estratégica en términos de extinción de incendio o de manejo del fuego en la ordenación del combustible forestal, es entendida como una acción de consumo a considerar de una cesta de bienes disponibles (oportunidades estratégicas de acciones), y a su vez se entiende que dicha opción de consumo tiene el comportamiento de una variable aleatoria (c), entonces sujeto a los condicionantes de las preferencias comparadas, se puede determinar la denominada utilidad esperada de poder desarrollar el plan de consumo contingente seleccionado.

Matemáticamente esta definición puede quedar identificada por la siguiente expresión:  $E[U(c)] = \sum p(e)U(c)$ . A partir de la expresión anterior y conocidos diferentes planes contingente de consumo, o dicho de otra forma diferentes opciones de planes operacionales de extinción o combinaciones estratégicas de recursos de extinción en un mismo plan de actuación (Castillo, Rodríguez y Silva. 2015), es posible obtener y comparar dos planes en función de la utilidad esperada que cada uno de ellos puede proporcionar:  $E[U(c_1)] > E[U(c_2)]$ . En determinadas ocasiones, el “plan de consumo contingente” puede pasar a ser considerado “plan de consumo cierto”, y en tal caso el escenario de incertidumbre se convierte en escenario de certidumbre. Es decir el número de unidades de consumo no varía en los diferentes estados de la naturaleza y en consecuencia la utilidad esperada de las diferentes opciones estratégicas es la misma.

Con el fin de clarificar los conceptos anteriores y a modo de ejemplo, se incluyen a continuación dos planes contingentes ( $c_1$ ) y ( $c_2$ ) en términos de capacidad de extinción, tiempos de intervención y costes de extinción (tablas 1 y 2).

Tabla 1. Plan de contingencia  $C_1$

| Nº de unidades Plan contingente $C_1$ | Tipo de recurso de extinción | Productividad unitaria en m/min | Coste unitario de extinción por hora (€) | Tiempo total de intervención en minutos | Coste de extinción total (€) | Factor de ponderación de rendimientos | Capacidad de extinción (m/min) |
|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--|---|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| 3                                     | Avión CL215T                 | 85                              | 4,571.92                                 | 826                                     | 188,820.27                   | 0.143                                 | 36.53                          |
| 3                                     | Helicóptero Bell412          | 55                              | 1,828.57                                 | 456                                     | 41,691.35                    | 0.079                                 | 13.05                          |
| 3                                     | Helicóptero KAMOV K32        | 75                              | 2,101.09.                                | 350                                     | 36,769.06                    | 0.061                                 | 13.66                          |
| 4                                     | Avión Air Tractor 802        | 65                              | 652.99                                   | 458                                     | 19,937.98                    | 0.079                                 | 20.65                          |
| 10                                    | Brigada (15 componentes)     | 8.5                             | 551.00                                   | 1,670                                   | 153,362.19                   | 0.290                                 | 24.62                          |
| 1                                     | Bulldozer                    | 35                              | 73.29                                    | 256                                     | 312.71                       | 0.044                                 | 1.55                           |
| 4                                     | Camión autobomba             | 15                              | 94.01                                    | 1,750                                   | 10,967.53                    | 0.304                                 | 18.21                          |
| Índice operacional $C_1$              | 15.82                        |                                 |  | 5,766                                   | 451,861.09                   |                                       | 128.27                         |

Tabla 2. Plan de contingencia  $C_2$

| Nº de unidades Plan contingente $C_2$ | Tipo de recurso de extinción | Productividad unitaria en m/min | Coste unitario de extinción por hora (€) | Tiempo total de intervención en minutos | Coste de extinción total | Factor de ponderación de rendimientos | Capacidad de extinción (m/min) |
|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--|---|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| 4                                     | Avión CL215T                 | 85                              | 4,571.92                                 | 950                                     | 289,554.89               | 0.1746                                | 59.38                          |
| 4                                     | Helicóptero Bell412          | 55                              | 1,828.57                                 | 321                                     | 39,131.35                | 0.0590                                | 12.98                          |
| 4                                     | Helicóptero KAMOV K32        | 75                              | 2,101.09                                 | 185                                     | 25,913.43                | 0.0340                                | 10.20                          |
| 2                                     | Avión Air Tractor 802        | 65                              | 652.99                                   | 750                                     | 16,324.76                | 0.1379                                | 17.92                          |
| 10                                    | Brigada (15 componentes)     | 8.5                             | 551.00                                   | 934                                     | 85,772.63                | 0.1717                                | 14.59                          |
| 2                                     | Bulldozer                    | 35                              | 73.29                                    | 450                                     | 1,099.37                 | 0.0827                                | 5.79                           |
| 5                                     | Camión autobomba             | 15                              | 94.01                                    | 1,850                                   | 14,492.81                | 0.3401                                | 25.51                          |
| Índice operacional $C_2$              | 16,54                        |                                 |  | 5,440                                   | 472,289.25               |                                       | 146.37                         |

Como se puede observa en los resultados obtenidos al final de ambas tablas, las opciones que presentan los dos planes de contingencia, muestran interesantes diferencias como resultado de las combinaciones en número y tipo de los medios de

extinción seleccionados para la opción  $c_1$  y la opción  $c_2$ . La opción  $c_2$ , resulta más costosa, tiene mayor capacidad de producción pero se consigue la extinción del incendio en menor tiempo, por el contrario la opción  $c_1$ , presenta menores costes, menor productividad, pero invierte mayor tiempo en alcanzar la extinción. De acuerdo con ello los valores del índice operacional que se obtienen para el plan de contingencia  $c_1$ , es de 15,82 unidades y para el plan de contingencia  $c_2$  es de 16,54 unidades. Para la determinación del índice operacional ( $I_{op}$ ) se ha considerado el siguiente algoritmo:  $I_{op} = 10^{-4} \cdot [0,35 \cdot (\text{Coste total de extinción})_i + 0,65 \cdot (\text{Capacidad de extinción})_i]$ .

Estas opciones de consumo o planes de contingencia, concebidas como variables aleatorias  $c_i$ , incluidas en la función de utilidad definida en el programa de defensa contra incendios forestales y/o manejo del fuego, permite obtener el grado de utilidad que reportan desde el punto de vista de los resultados finales obtenidos. Estos resultados han de ser medidos en términos por ejemplo de la eficiencia, o de la relación coste/beneficio. En la elección de la función de utilidad que modela el resultado comparado de los planes de contingencia, hay que considerar el valor económico que se consigue salvar de los recursos tangibles e intangibles afectados por el incendio, interrelacionando matemáticamente el mismo con el valor de consumo que representa cada solución combinada de medios de extinción.

## 2. Aversión al Riesgo y su medida

La decisión de optar por un plan de contingente (plan de operación de extinción) entre los considerados, tiene una importante componente de la actitud frente al riesgo que presente al sujeto decisor. Para abordar con mayor detalle esta cuestión, es necesario conceptualizar lo que se denomina por “juego actuarialmente justo”, se define como aquel juego o lotería cuyo valor esperado es cero. Si se considera a  $(p)$  como la probabilidad con valores entre  $(0)$  y  $(1)$ , entonces  $px + (1-p)y = 0$ .

A partir de este concepto, se puede definir las posiciones de un sujeto decisor con relación al riesgo (Arrow, 1965):

- a) Aversión al Riesgo. Un sujeto decisor es averso al riesgo, cuando no está dispuesto con su decisión a asumir cualquier juego actuarialmente justo. Cumpliéndose a partir de la riqueza inicial  $M_0$  del sujeto, con  $x$  e  $y$  como posibles ganancias (incremento en la riqueza, a partir de la inicial) y de acuerdo con sus respectivas probabilidades  $(p)$  y  $(1-p)$ , siendo  $U$  la función de utilidad del sujeto,  
$$U(M_0) > p \cdot U(M_0 + x) + (1-p)U(M_0 + y)$$
$$U(M_0) = U(p \cdot (M_0 + x) + (1-p) \cdot (M_0 + y)) > p \cdot U(M_0 + x) + (1-p) \cdot U(M_0 + y)$$

Función estrictamente cóncava

- b) Neutral al Riesgo. Un sujeto decisor es neutral al riesgo, cuando es indiferente a asumir cualquier juego actuarialmente justo.

Matemáticamente esta figura es expresada de la siguiente forma,

$$U(M_0) = U(p \cdot (M_0+x) + (1-p) \cdot (M_0+y)) = p \cdot U(M_0+x) + (1-p) \cdot U(M_0+y)$$

Función lineal

- c) Amante al Riesgo. Un sujeto decisor es amante al riesgo, cuando está dispuesto a asumir cualquier juego actuarialmente justo.

Matemáticamente esta figura es expresada de la siguiente forma,

$$U(M_0) = U(p \cdot (M_0+x) + (1-p) \cdot (M_0+y)) < p \cdot U(M_0+x) + (1-p) \cdot U(M_0+y)$$

Función estrictamente convexa

La medida de la aversión al riesgo que presenta el sujeto decisor, depende de la mayor o menor concavidad que presenta la función de utilidad que es gestionada por el decisor (Pratt, 1964). El valor absoluto de la curvatura de una función de utilidad viene dada por  $(-U'')$ . Es decir la segunda derivada de la función de utilidad proporciona un información del grado de concavidad y cuanto mayor sea ésta, tanto mayor será la aversión al riesgo que presenta el sujeto decisor que gestiona dicha función de utilidad. Normalizando la segunda derivada con la primera derivada de la función de utilidad, se consigue un procedimiento de medida de la aversión del riesgo que resulta ser invariante frente a transformaciones afines (Arrow, 1964), (Pratt, 1965). El coeficiente de medida de aversión absoluta al riesgo viene determinado por la expresión:  $R_a(M) = -[U''(M)/U'(M)]$ . Cuando interesa determinar la aversión en proporción a la riqueza inicial, se utiliza la medida de aversión relativa cuya expresión es:  $R_r(M) = -[U''(M)/U'(M)] \cdot M$

En la determinación de la función de consumo, han sido consideradas las siguientes variables:

- el valor por hectárea de los recursos naturales ( $V_R$ ) (tangibles e intangibles), presentes en la zona en donde interesa contrastar los planes contingentes (planes operacionales definidos por combinaciones de medios de extinción),
- las pérdidas por hectárea ( $P_R$ ) que se pueden producir en función del comportamiento del fuego (matriz de depreciación de los valores de los recursos afectados) (Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2010, Molina et al. 2009, Rodríguez y Silva et al. 2014),
- el índice de capacidad operacional (Iop), que se obtiene interrelacionando los tipos de medios de extinción, la combinación numérica de los mismos, los costes unitarios, los tiempos de intervención y la capacidad operacional que desarrollan (control de línea de fuego)

Reuniendo estas variables en la expresión que proporciona la función de consumo, se obtiene el concepto de “riqueza” derivada del plan de contingencia considerado. Esta nueva variable explicada, pasa a ser la variable explicativa de la función de utilidad determinada para el análisis de la aversión al riesgo que presenta el sujeto decisor.

La función de consumo definida presenta la siguiente expresión matemática:

$$C = \frac{(VR-PR)}{Iop}$$

La función de utilidad seleccionada para el análisis de la aversión es  $U = \ln(C)$ , esta función de utilidad presenta el siguiente comportamiento en relación al criterio de Arrow-Pratt, siguientes:

1.- Aversión Absoluta al Riesgo:

$$AAR = -\frac{U''}{U'} = -\frac{-\frac{1}{C^2}}{\frac{1}{C}} = \frac{1}{C} > 0, \text{ Aversión al Riesgo}$$

La evolución del grado de Aversión Absoluta al Riesgo resulta ser decreciente con el consumo (C), en efecto la diferencial de AAR, con relación a un cambio infinitesimal del consumo resulta ser estrictamente decreciente:

$$\frac{dAAR}{dc} = -\frac{1}{C^2}$$

$< 0$ , Aversión Absoluta al Riesgo decreciente con el consumo

2.- Aversión Relativa al Riesgo:  $ARR = c \cdot AAR = c \cdot \frac{1}{c} =$

1, Aversión Relativa al Riesgo constante

Haciendo uso de la utilidad esperada, se puede determinar la actitud frente al riesgo del sujeto decisor. Para ello es necesario determinar el valor de la utilidad esperada y establecer la comparación con el valor esperado. El cálculo numérico requiere la asignación de la probabilidad (p) que se entiende afecta a la decisión de seleccionar el plan contingente  $C_1$  y la probabilidad (1-p) correspondiente al plan contingente  $C_2$ . De acuerdo a lo indicado anteriormente, el procedimiento metodológico de cálculo quedaría de la siguiente forma:

Fase a), determinación del valor esperado:

$$V(C_1, C_2) = p \cdot C_1 + (1 - p) \cdot C_2$$

Fase b), determinación de la utilidad del valor esperado:

$$U(V(C_1, C_2)) = \ln(V(C_1, C_2))$$

Fase c), determinación de la utilidad esperada:

$$U(C_1, C_2) = p \cdot \ln(C_1) - (1 - p) \cdot \ln(C_2)$$

Estableciendo la comparación versus:

$$U(M_0) = U(p \cdot (M_0 + x) + (1 - p) \cdot (M_0 + y)) > p \cdot U(M_0 + x) + (1 - p) \cdot U(M_0 + y),$$

se confirma la existencia de función estrictamente cóncava y por consiguiente el sujeto decisor presenta aversión al riesgo.

Aplicando este procedimiento al escenario del paisaje forestal donde se localiza el propagación del incendio forestal, se puede evaluar que tipo de comportamiento frente al riesgo presenta el sujeto decisor, ante la decisión de seleccionar un determinado plan de contingencia.

Otras funciones de utilidad definidas sobre el consumo (en términos de elección de bienes que resuelven una determinada necesidad), pueden ser consideradas de forma similar a la elección realizada en el presenta trabajo. Entre la familia de funciones de utilidad, se pueden considerar las siguientes (Gollier, 1999), (tabla n°3):

Tabla 3. Comparativa entre funciones de utilidad dependientes del valor del consumo (c)

| Función de utilidad U(c)                                | Expresión matemática  | Aversión absoluta al riesgo | Aversión relativa al riesgo           | Consideraciones  |
|---|---|-----------------------------|---------------------------------------|--|
| Cuadrática  | $U(c) = c - \frac{b}{2}c^2$<br>con $b > 0$  | $Ra(c) = \frac{1}{1 - bc}$  | $Rr(c) = \frac{b^2}{(1 - bc)^2}$      | Tratamiento como bien inferior (a mayor valor de (c), mayor aversión absoluta al riesgo en la elección del plan de contingencia. Estrategia conservadora                     |
| CARA (Función de aversión absoluta al riesgo constante) | $U(c) = -\frac{1}{\gamma}e^{-\gamma c}$<br>con $\gamma > 0$   | $Ra(c) = \gamma$            | $Rr(c) = \gamma c$                    | Al ser la aversión relativa al riesgo creciente con el consumo, el modelo ofrece una proporción directa de la utilidad con el consumo  |
| CRRA (Función de aversión relativa al riesgo constante) | $U(c) = \frac{c^{1-\sigma} - 1}{1 - \sigma}$<br>con $\sigma \geq 0$<br>Cuando $\sigma \rightarrow 1$ , entonces<br>$U(c) = Lnc$ | $Ra(c) = \frac{\sigma}{c}$  | $Rr(c) = c \frac{\sigma}{c} = \sigma$ | Al ser la aversión absoluta al riesgo decreciente con el consumo, el modelo ofrece predisposición a la elección del plan de contingencia que presenta mayor nivel de consumo |

El estudio del comportamiento de diferentes opciones de funciones de utilidad, en relación con su aplicabilidad en la evaluación de la selección del plan de contingencia en ambientes de incertidumbre, ofrece una importante herramienta en el análisis estratégico comparado de planes operacionales de extinción. Los resultados que se obtienen, proporciona la posibilidad de elaborar una carpeta de soluciones elegibles y estandarizadas según los escenarios de incertidumbre operacional identificados en el paisaje forestal a defender frente a los incendios forestales.

## Resultados

La aplicación del modelo, requiere el establecimiento de unas determinadas características territoriales, en las que se define el escenario de trabajo. De acuerdo con ello se ha considerado a modo de ejemplo, una celda de 2kmx2km. La evaluación económica de los recursos naturales (tangibles e intangibles) existentes en el interior alcanza el valor de 2.425€/ha. La determinación del valor económico de los daños que representaría la ocurrencia de un determinado incendio forestal, se analiza bajo dos aspectos. Los definidos por los resultados operacionales de los dos planes de contingencia (C<sub>1</sub>) y (C<sub>2</sub>). La capacidad de extinción del plan (C<sub>1</sub>) es menor que la que se obtiene a través del plan (C<sub>2</sub>), los costes totales de extinción también son menores, aunque el tiempo empleado en controlar el incendio es mayor.

Por otra parte el resultado del estudio del índice de peligro de ocurrencia de incendios apunta a que las probabilidades de vientos desecantes con velocidad alta es

del 15%, frente a una situación más benévola de menor peligrosidad y por consiguiente con menor conflictividad operacional, caracterizada por vientos más húmedos y de menor intensidad, con una probabilidad del 85%.

Las consecuencias de optar por un plan u otro representan, además de mayores costes de extinción con mayor capacidad de extinción (en el caso de seleccionar el plan contingente (C<sub>2</sub>), un diferencial en la superficie finalmente afectada por el fuego. Con la elección del plan contingente (C<sub>2</sub>), frente al (C<sub>1</sub>), se reduce la superficie afectada en un 15% aunque los costes de extinción se incrementan en un 4,3%.

Otra cuestión necesaria es la determinación del cambio neto en el valor de los recursos naturales a consecuencia del impacto del incendio (CNV). Este resultado se puede obtener haciendo uso de la metodología del modelo SEVEIF (Molina et al. 2009, Rodríguez y Silva, 2014). La obtención de la diferencia entre el valor económico inicial de los recursos naturales (sin ser afectados por el incendio) y el valor final tras la afectación permite obtener el valor salvado. Integrando dicho resultado de forma conjunta con el valor del índice operacional (I<sub>op</sub>) correspondiente al plan contingente seleccionado, se determina a través de la función de consumo, el valor de la “riqueza” en términos del valor económico que se ha conseguido salvar del impacto del incendio.

Los resultados obtenidos en función de la elección entre los planes de contingencia, objeto de la selección en función de los resultados del riesgo en escenarios de incertidumbre, y para el caso que ocupa el presente análisis de resultados, se muestran a continuación (tabla nº 4)

Tabla 4. Valores del CNV para cada plan de contingencia y escenario meteorológico

| Escenarios meteorológicos | Probabilidad de ocurrencia (%) | CNV/Plan C <sub>1</sub> €/ha | CNV/Plan C <sub>2</sub> €/ha |
|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| EM <sub>1</sub>           | 15                             | 2,425-850=1,575              | 2,425-550=1,875              |
| EM <sub>2</sub>           | 85                             | 2,425-650=1,775              | 2,425-450=1,975              |

Los correspondientes valores que alcanza la función de consumo, permiten obtener de forma comparada la “riqueza” derivada de los correspondientes planes de contingencia considerados. Dichos valores constituyen la variable explicativa (variable independiente) de la función de utilidad seleccionada para el análisis de la aversión al riesgo que presenta el sujeto decisor. En la determinación de los correspondientes valores de “riqueza”, hay que considerar los resultados que ofrecen los diferentes índices operacionales (I<sub>op</sub>) y aplicar la función de consumo a cada uno

de los valores que representa el cambio neto en el valor de los recursos a resultados del plan de contingencia seleccionado y escenarios meteorológicos existentes (tabla n°5).

Tabla 5. Valores de la función de consumo para cada plan de contingencia, escenario meteorológico e índice operacional

| Plan de contingencia | I <sub>op</sub> | Escenario meteorológico | CNV €/ha | Valores de la función de consumo C €/ha |
|----------------------|-----------------|-------------------------|----------|---|
| C <sub>1</sub>       | 15.82           | EM <sub>1</sub>         | 1,575    | 99.55                                   |
|                      | 15.82           | EM <sub>2</sub>         | 1,775    | 112.19                                  |
| C <sub>2</sub>       | 16.54           | EM <sub>1</sub>         | 1,875    | 113.36                                  |
|                      | 16.54           | EM <sub>2</sub>         | 1,975    | 119.40                                  |

A la vista de los resultados obtenidos, se puede analizar la decisión que tomará el sujeto teniendo en consideración el valor esperado y la utilidad esperada, a partir de los valores de la función de consumo que, para cada escenario meteorológico y plan de contingencia disponible proporciona.

Se presenta dos posibles soluciones a escoger por el sujeto:

A)

- Optar por una solución fija dada por el plan de contingencia C<sub>1</sub> con un valor en la función de consumo de 112,19 €/ha.
- Optar por una solución dinámica, con una probabilidad del 35% de alcanzar un valor de la función de consumo de 99,95 €/ha (al seleccionar el plan de contingencia C<sub>1</sub>) y con una probabilidad del 65% de alcanzar un valor de la función de consumo de 119,40 €/ha (al seleccionar el plan de contingencia C<sub>2</sub>).

A.1.- Valor esperado fijo

$$VE(\text{solución fija})=0,35 \times 112,19 + 0,65 \times 112,19 = 112,19 \text{ €/ha}$$

A.2.- Valor esperado dinámico

$$VE(\text{solución dinámica})=0,35 \times 99,95 + 0,65 \times 119,40 = 112,59 \text{ €/ha}$$

B.1.- Utilidad esperada fija

$$UE(\text{solución fija})=0,35 \times \ln(112,19) + 0,65 \times \ln(112,19) = 0,15 \times 4,72 + 0,85 \times 4,72 = 4,72 \text{ €/ha}$$

B.2.- Utilidad esperada dinámica

$$UE(\text{solución dinámica})=0,35 \times \ln(99,55)+0,65 \times \ln(119,40)=0,15 \times 4,6+0,85 \times 4,78=4,71 \text{ €/ha}$$

Al ser la utilidad esperada de la solución fija mayor que la utilidad esperada de la solución dinámica,  $UE(\text{solución fija}) > UE(\text{solución dinámica})$ , se puede observar que la actitud del sujeto decisor frente al riesgo, es recogida por la utilidad esperada y no el valor esperado, siendo por tanto la ecuación de la utilidad esperada la que debe ser considerada a la hora de analizar la decisión que tomará el sujeto en ambientes de incertidumbre.

La probabilidad de error o percance para que el sujeto decisor adopte un comportamiento indiferente entre las dos opciones (selección fija y selección dinámica), se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$0,35 \times \ln(112,19)+0,65 \times \ln(112,19)=0,15 \times 4,72+0,85 \times 4,72p' \times \ln(99,55) + (1-p') \times \ln(119,40)$$

$$4,72=p' \times 4,6+(1-p') \times 4,78 \rightarrow p'=0,33$$

Este resultado indica que la probabilidad de percance debe disminuir del 35% al 33%, para que el sujeto decisor se muestre indiferentes entre seleccionar la solución fija o la solución dinámica.

El valor “equivalente certeza” de la opción de selección dinámica, se obtiene considerando la utilidad esperada de la selección dinámica:

$$U(EC)=UE(\text{selección dinámica})$$

$$\ln(EC)=4,71 \rightarrow EC = e^{4,71} = 111,05 \text{ €/ha}$$

El “equivalente certeza”, proporciona información del comportamiento del sujeto decisor, el cual se muestra indiferente entre obtener un valor cierto de consumo igual a 111,05 €/ha que obtener con riesgo en el incremento de costes de extinción y la minoración del valor económico salvado de los recursos naturales, un valor esperado del consumo de 112,19 €/ha.

Finalmente la “prima de riesgo”, entendida ésta como la máxima cantidad que un sujeto decisor está dispuesta a pagar con tal de no correr riesgo, se determina por la diferencia entre el valor esperado de la solución fija y el “equivalente de certeza” determinado. Para el caso estudiado en el presente trabajo dicha prima es:

$$PR=VE(\text{Solución fija})-EC=112,19-111,05= 1,14 \text{ €/ha}$$

Es decir, el sujeto decisor está dispuesto a renunciar como máximo a 1,14 €/ha, con tal de evitar el riesgo. Dicho de otra forma es la máxima cantidad que el sujeto decisor averso al riesgo está dispuesto a aceptar (pagar) con tal de no tener que asumir el riesgo. Integrando la información anterior en el gráfico de utilidades versus consumo, se puede mostrar tanto el “equivalente certeza” como la “prisma de riesgo” (figura nº 2).

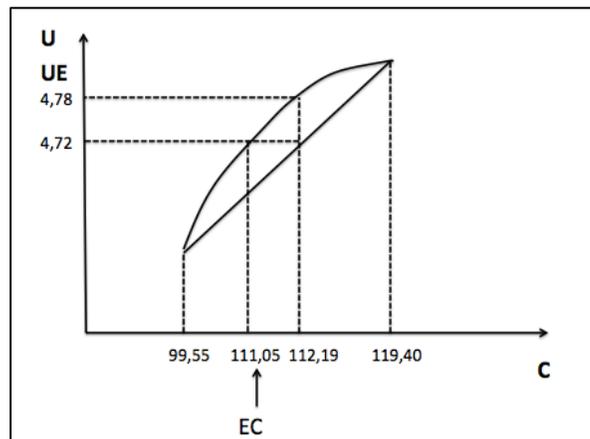


Figura 2. Gráfico de las utilidades esperadas versus valores de consumo obtenidos con el análisis de los planes de contingencia.

## Discusión

La gestión operacional de las actividades de extinción de incendios forestales, resulta ser compleja, al tener que tomar la dirección técnica de extinción del incendio, decisiones bajo escenarios de incertidumbre. La recopilación de la experiencia de los actores, basada en procesos previos de capitalización, no es frecuente. Esto implica la pérdida continuada de las vivencias al no ser protocolizada la metodología necesaria para recopilar, filtrar, ordenar y finalmente clasificar la información obtenida. La falta de costumbre en el monitoreo de datos relacionado con las operaciones de supresión, constituye uno de los problemas que limitan la reducción del desconocimiento en los escenarios de combate y extinción de los incendios forestales.

La mejora operacional y el progresivo incremento en las operaciones de extinción de los incendios forestales, se consigue con el avance del conocimiento que proporcionan las experiencias capitalizadas y el respaldo de las investigaciones científicas. En este sentido la toma de decisión basada en la reducción de la incertidumbre, conduce a soluciones más eficientes en los planes de extinción de

incendios forestales. La metodología propuesta en el presente trabajo, representa una primera aproximación en el uso de herramientas de análisis y predicción económica que proporcionan un horizonte de claridad en escenarios de incertidumbre.

El análisis del riesgo y de la incertidumbre, en términos de la utilidad esperada, ofrece oportunidades de diagnóstico en la selección de estrategias de extinción en el marco de la gestión del paisaje forestal y del manejo del fuego. La determinación del comportamiento del sujeto en relación con las posibles decisiones que puede adoptar frente al riesgo en escenario de incertidumbre operacional, abre una nueva vía para estudiar los resultados potenciales de los planes operacionales, conjugando en los mismos, la combinación estratégica de los medios de extinción, los costes de extinción y el cambio neto en el valor de los recursos afectados.

La inclusión en el análisis de factores relacionados con la probabilidad de éxito, ofrece de forma comparada los “beneficios” en términos de pagos resultantes tras el análisis comparado de los planes de contingencia definidos. La elección de la función de utilidad que sirve de respaldo al proceso analítico, es una de las partes principales de esta metodología. Desde funciones matemáticas a funciones econométricas que proporcionan resultados en términos de productividad (Cobb-Douglas, CES, Translog, etc.), existen diferentes opciones de estudios de la información de la calidad que facilitan cada una de ellas.

En el caso analizado en el presente trabajo, se ha optado por la función de utilidad que determina el logaritmo neperiano de la variable de consumo. Esta función devuelve una caracterización del comportamiento del sujeto, en el marco de la aversión al riesgo, caracterizado por la concavidad de la curva de utilidad (figura nº 2). Es importante indicar que en ambiente de incertidumbre y sobre todo en el marco de la gestión operacional de las emergencias, los sujetos decisores, optan por mantener un comportamiento de aversión al riesgo en contra de decisiones que asumen la aplicación de planes de contingencia más eficientes pero que o bien no cuentan con experiencia de resultados contratados, o las probabilidades de éxito son difíciles de acordar y por tanto de establecer.

En todo caso, la experiencia adquirida en la toma de decisiones empresariales en situaciones de incertidumbre (inversiones en bienes y equipos, inversiones bursátiles, compras de activos financieros, contratación de seguros, etc.), así como las investigaciones científicas en los modelos microeconómico de riesgo e incertidumbre, constituyen una sólida base para el desarrollo de herramientas de planificación y ayuda a la toma de decisión en las operaciones de extinción de incendios forestales.

## Agradecimientos

El autor manifiesta su agradecimiento al proyecto GEPRIF (RTA2014-00011-C06-01) financiado por Ministerio de Ciencia e Innovación a través del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), por su apoyo y ayuda presupuestaria en la realización del presente trabajo.

## Referencias

- Arrow, K. J. (1965).** "Aspects of the Theory of Risk Bearing". *The Theory of Risk Aversion*. Helsinki: Yrjo Jahnssonin Saatio. Reprinted in: *Essays in the Theory of Risk Bearing*, Markham Publ. Co., Chicago, 1971, 90–109.
- Castillo M., Rodríguez y Silva F. 2015.** Quantitative analysis of forest fire extinction efficiency. *Forest Systems* 24, e032, 9 pages
- Gollier C. 1999.** *The Economics of Risk and Time*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Minas J.P., Hearne J. W., Hadmer J. W. 2012.** A review of operations research methods applicable to wildfire management. *International Journal of Wildland Fire* 21(3) 189-196 <http://dx.doi.org/10.1071/WF10129>
- Molina, J.R., Rodríguez y Silva, F., Herrera M.A., Zamora R. 2009.** A Simulation Tool for Socio-Economic Planning on Forest Fire Suppression Management. In: Columbus, F. (Ed.). *Forest Fires: Detection, Suppression, and Prevention*. Nova Science Publishers; 33-88.
- Molina, J.R., Rodríguez y Silva, F., Herrera, M.A. 2016.** Integrating economic landscape valuation into Mediterranean territorial planning. *Environmental Science & Policy* 56, 120–128.
- Pratt, J. W. (1964).** "Risk Aversion in the Small and in the Large". *Econometrica*. **32** (1–2): 122–136. [doi:10.2307/1913738](https://doi.org/10.2307/1913738). [JSTOR 1913738](https://www.jstor.org/stable/1913738)
- Rodríguez y Silva, F., González-Cabán, A. 2010.** "SINAMI": a tool for the economic evaluation of forest FIRE management programs in Mediterranean ecosystems. *International Journal of Wildland Fire* 19, 927-936.
- Rodríguez y Silva F., Molina J.R., Rodríguez J. 2014.** The efficiency analysis of the fire control operations using the VISUAL-SEVEIF tool. *Advances in Forest Fire Research*. [http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6\\_210](http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_210)
- Rodríguez y Silva F., González-Cabán A. 2016.** Contribution of suppression difficulty and lessons learned in forecasting fire suppression operations productivity: A methodological approach. *Journal of Forest Economics* 25 (2016) 149–159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfe.2016.10.002>
- Varian H., 2005.** *Intermediate Microeconomics*. 6th Edition. Word Press.

# Una Comparación de la DAP por Programas de Reducción de Riesgo de Incendios Forestales de los Hogares en la Interfaz Urbana –Forestal en California y Florida<sup>1</sup>

José J. Sánchez<sup>2</sup>, John Loomis<sup>3</sup>, Armando González-Cabán<sup>2</sup>, Tom Holmes<sup>4</sup>

## Resumen

Las mismas encuestas de experimento de elección y las mismas especificaciones de modelos logit mixtos son utilizadas en California (CA) y Florida (FL) para comparar la disposición a pagar (DAP) por dos tipos de programas de reducción de combustibles. La comparación de la DAP de los propietarios de viviendas en CA y FL por la reducción privada y pública del riesgo de incendios forestales muestra que la DAP por acciones privadas entre los hogares que perciben riesgo de incendio forestal bajo a moderado es bastante baja, y probablemente más baja de lo que sería su parte del costo por hacer reducciones significativas de riesgo de incendios en su propiedad y a sus residencias. Sin embargo, estos mismos individuos pagarían sustancialmente más por programas públicos para reducir el riesgo de incendios en sus vecindarios y en los predios públicos de uso común en los alrededores de sus vecindarios. Los resultados también sugieren que la prioridad más alta para los fondos de costo compartido se dirigiría hacia los propietarios de viviendas en áreas en las que perciben que sus casas están en riesgo alto, y especialmente para compartir el costo de acciones privadas en sus propios predios.

Palabras clave: transferencia de beneficio, programas de reducción de combustibles, encuesta por correo, modelos logit mixto, disposición a pagar.

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Incendios Forestales: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Estadista Investigador y Economista Investigador, respectivamente, Servicio Forestal del USDA, Pacific Southwest Research Station, Riverside, CA 92507; email: jsanchez@fs.fed.us

<sup>3</sup> Profesor, Departamento de Economía Agrícola y de los Recursos, Universidad Estatal de Colorado, Fort Collins, CO 80523;

<sup>4</sup> Economista Investigador Forestal, Servicio Forestal del USDA, Southern Research Station, Research Triangle Park, NC 27701

## **Introducción**

Durante las últimas dos décadas, ha habido un gran movimiento de la población de los Estados Unidos hacia áreas de la Interfaz Forestal-Urbana (IFU). Esto es particularmente evidente en California (CA) y Florida (FL), dos de los estados más poblados de los EE.UU. Estos estados también tienen millones de residentes viviendo en áreas de la IFU con riesgo alto o, en el caso de CA, riesgo extremo de incendios forestales severos. Para reducir el riesgo de incendios forestales, el Servicio Forestal (USFS, por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), las agencias Forestales Estatales y los condados locales han compartido costos con las acciones de reducción de riesgo de incendios forestales de propietarios privados de viviendas y de comunidades. Además, estas agencias han pagado directamente por los esfuerzos de reducción de combustibles en las tierras públicas y privadas que rodean a muchas de estas comunidades. Sin embargo, estos son programas costosos para propietarios de viviendas privados y agencias de manejo del fuego federales/estatales/municipales. Para propiciar la participación, se han ofrecido programas de costos compartidos. Sin embargo, existen fondos federales muy limitados y es importante que el USFS sepa qué áreas geográficas tienen los valores económicos más altos para reducir el riesgo de incendios forestales y los valores relativos de acciones de reducción de riesgo de incendios forestales para los propietarios de viviendas. En particular, el costo compartido sólo reduce el costo para el propietario, y si su DAP cae por debajo del costo compartido, no participarán en acciones privadas para reducir el riesgo de incendios forestales en sus propiedades ni apoyarán las acciones de las asociaciones de propietarios de viviendas.

Por lo tanto, el propósito de este documento es obtener y comparar la DAP de los propietarios de viviendas en CA y FL por la reducción privada o pública del riesgo de incendios forestales. Estimamos la Disposición a Pagar (DAP) de los propietarios de viviendas por reducir el riesgo de incendios forestales en, y alrededor de, donde viven las personas en los dos estados. Se valoran dos programas de reducción del riesgo de incendios: (1) un programa público que sería llevado a cabo por gerentes de distrito contra incendios públicos que involucra la quema prescrita, el tratamiento mecánico y el tratamiento herbicida de los bosques que rodean inmediatamente a su vecindario; y (2) pagar por un Programa Privado que modifique la vegetación que rodea el hogar, como reducir la vegetación alta (más de 3 pies de alto) dentro de los 30 pies de distancia de su casa.

Elegimos CA y FL porque existen programas activos de reducción de combustibles en ambos estados. Si bien el tipo de bosque puede ser diferente, la experiencia de grandes y repetidos incendios forestales en estos dos estados sugiere que los residentes que viven allí están familiarizados con el riesgo de incendios

forestales. Valoramos los mismos dos programas con la misma encuesta de experimento de elección utilizando el mismo modo de encuesta en CA y FL.

El documento se desarrolla de la siguiente manera: primero revisamos la literatura, seguida por la presentación del diseño de la encuesta de experimento de elección y el modo de encuesta. Después se describen los datos, se discute la especificación logit mixta y luego se presentan los resultados econométricos. Estos resultados son seguidos por las estimaciones de la DAP en FL utilizando dos enfoques diferentes para el ajuste de la inflación a la fecha de la encuesta en CA.

## Revisión de Literatura

Se han realizado dos series de encuestas que usan el Método de Valoración Contingente (MVC) acerca de lo que los hogares pagarían por proyectos estatales y municipales de reducción de riesgo de incendios forestales en CA, FL y Montana (MT) (Loomis y González-Cabán, 2010) y en Colorado (Walker et al., 2007). Los proyectos de reducción de riesgo de incendios forestales involucraron el raleo mecánico y la quema prescrita de los bosques en el condado donde se ubican los hogares. Por lo tanto, existe cierta similitud de los programas valorados en esos estudios con nuestro Programa Público, ya que ambos implicaban la quema prescrita y la reducción mecánica de la vegetación forestal. Las encuestas MVC utilizaron un formato de referéndum de votantes donde los hogares votaron a favor o en contra de pagar la parte de su hogar por un programa de reducción de combustibles del condado. La forma exacta del pago (p.ej. impuesto a las ventas, impuesto a la propiedad, etc.) fue deliberadamente no especificada para reducir las respuestas de protesta. Los estudios MVC de Loomis y González-Cabán (2010) reportaron una DAP promedio, por hogar, por la quema prescrita para CA, FL y MT de \$460, \$392 y \$323, respectivamente. La DAP promedio, por hogar, por el método de reducción mecánica de combustibles en CA, FL y MT fue de \$510, \$239 y \$189, respectivamente. La comparación de la DAP promedio de CA y FL es de particular interés para nuestro estudio de caso. Estos valores por hogar son relativamente similares para la quema prescrita en los dos estados, pero diferentes por un factor de dos para la reducción mecánica de combustibles. Los tres estudios reportados por Loomis y González-Cabán (2010) especificaron un programa público que reduciría el número de acres quemados y el número de casas que serían destruidas.

Sin embargo, ninguno de estos tres últimos estudios MVC presentó explícitamente la magnitud del riesgo de incendio forestal para la casa de las personas, ni el monto monetario de los daños probables a sus casas a causa de los incendios forestales como lo hace el estudio de experimento de elección presentado

en este documento. En este nuevo estudio especificamos al encuestado el daño monetario, que osciló entre pérdida parcial y pérdida total de su hogar. Además, calculamos para los encuestados sus daños esperados (riesgo x daños) a la propiedad. Nuestro nuevo estudio en CA y FL también incluye una estimación independiente de la DAP por un programa privado alrededor de la casa de una persona individual. A pesar de la dificultad con la comunicación del riesgo (ver Smith y Desvousges, 1987) sentimos que discutir el riesgo a sus hogares puede ser una manera más significativa de comunicar los efectos potenciales de incendios forestales a los propietarios de la IFU que sólo acres quemados en el condado o estado y casas completamente destruidas. Por lo tanto, centrarse en el riesgo de incendios sobre su casa y los daños podría mejorar las estimaciones de la DAP por los programas de mitigación de incendios forestales en CA y FL.

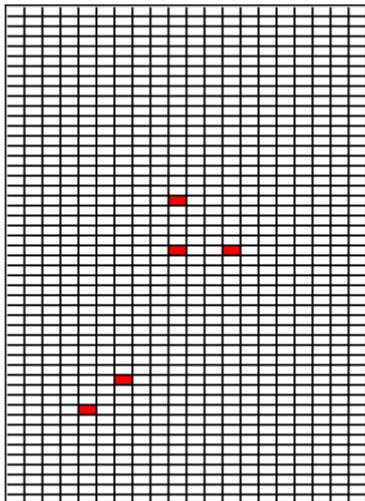
## **Diseño de la Encuesta de Experimento de Elección**

La encuesta comenzó con varias preguntas que pidieron al entrevistado responder acerca de la vegetación alrededor de su hogar. Estas preguntas fueron seguidas por una caracterización de lo que ciertas respuestas significan para el riesgo de incendios forestales en su vecindario y el riesgo de perder su casa a causa de un incendio forestal. Utilizando estadísticas de incendios de los respectivos estados, el riesgo real de incendio forestal fue caracterizado utilizando una escalera de riesgo y una cuadrícula de probabilidad de riesgo. La cuadrícula de probabilidad ilustró la probabilidad de que una casa sufriese daños por un incendio forestal, representada como el número de cuadros rojos en una cuadrícula de 1,000 celdas cuadradas. La probabilidad de que la casa no resultase dañada fue representada por los cuadros blancos restantes (fig. 1). Para transmitir el riesgo relativo de que un incendio forestal dañe un hogar en comparación con otros riesgos cotidianos (como tener un ataque cardíaco en una persona mayor de 35 años de edad), se presentó una escalera de riesgo (fig. 2) a los encuestados. Ambos instrumentos de comunicación de riesgo han sido utilizados en encuestas anteriores como una manera de transmitir a los encuestados los riesgos relativos y absolutos (Smith y Desvousges, 1987; Loomis y DuVair, 1993; Krupnick et al., 2002; Holmes et al., 2013).

**Fig. 1.** Cuadrículas de riesgo para transmitir el grado relevante de riesgo de incendios forestales a los propietarios de viviendas participantes en la encuesta.

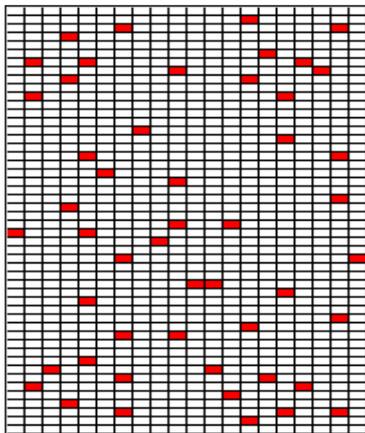
### CUADRÍCULAS DE PROBABILIDAD

**(1) CUADRÍCULA DE PROBABILIDAD SUPERIOR: Probabilidad anual**



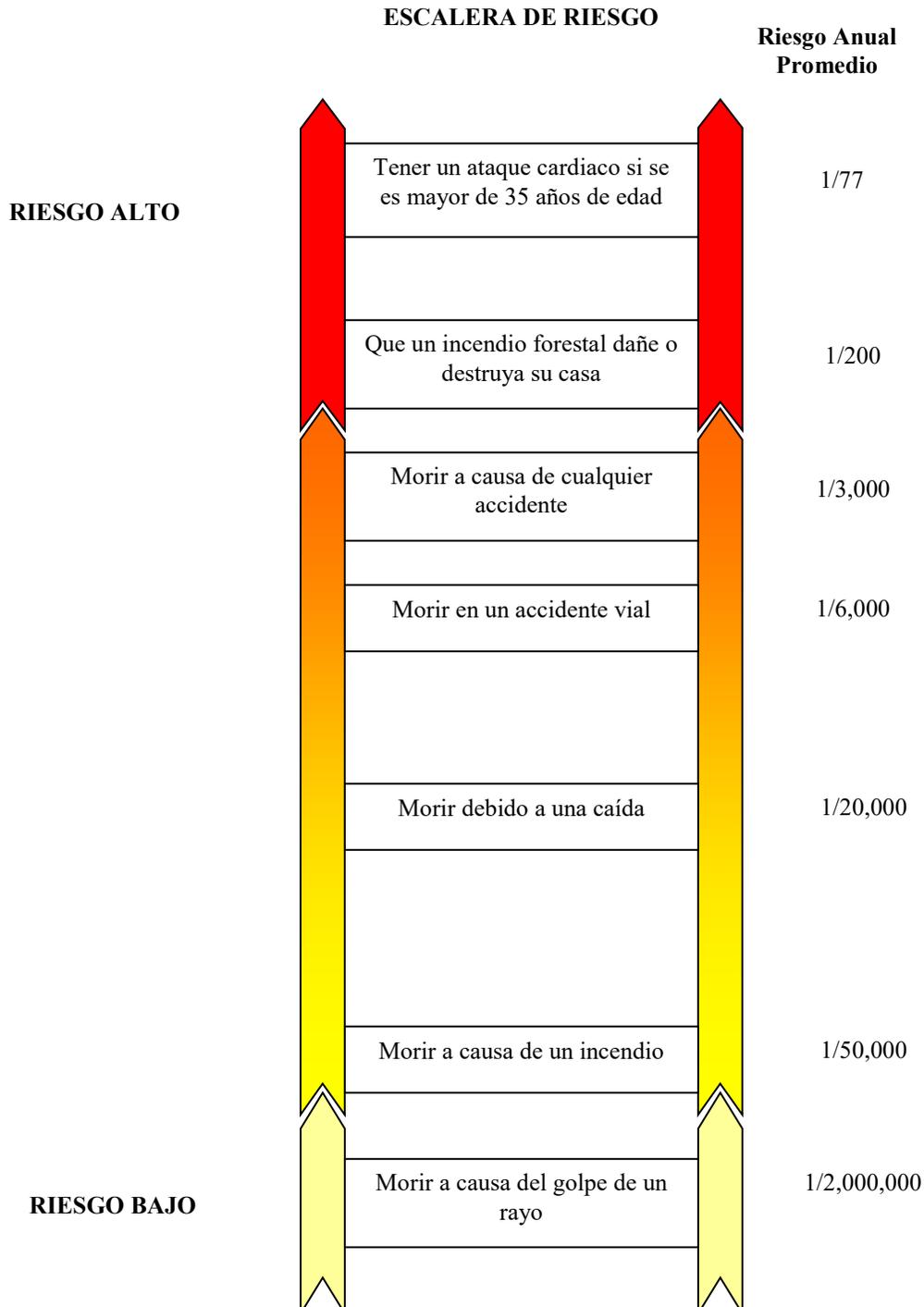
Otra manera de ilustrar la Probabilidad Promedio Anual de que un incendio forestal dañe su casa se muestra en el diagrama de la izquierda. La "cuadrícula de probabilidad" muestra un vecindario con 1000 casas, y cada cuadrado representa a una casa. Los cuadros blancos son casas que no han sido dañadas o destruidas por incendios forestales, y los cuadros rojos son casas que han sido dañadas o destruidas. Considere esto como un evento típico, o promedio, cada año para este vecindario. Para tener una idea de este nivel de probabilidad, cierre sus ojos y coloque la punta de un bolígrafo dentro de la cuadrícula. Si toca un cuadro rojo, esto significaría que su casa fue dañada o destruida por un incendio forestal.

**(2) CUADRÍCULA DE PROBABILIDAD INFERIOR: Probabilidad de diez años**



La probabilidad de que su casa sea dañada por incendios forestales durante un **período de diez años** es aproximadamente 10 veces la probabilidad de que fuese dañada o destruida en un solo año. La Probabilidad Promedio de Diez Años se muestra para el mismo vecindario en un período de diez años, donde los cuadros rojos representan casas que han sido dañadas o destruidas durante un período de diez años y los cuadros blancos son casas que no han sido dañadas o destruidas.

**Fig. 2** Escalera de riesgo utilizada para ilustrar a los participantes de la encuesta el riesgo de los incendios forestales en comparación con otros eventos cotidianos.



Esta “escalera de riesgo” muestra el riesgo de que le ocurran peligros cotidianos a usted a lo largo de los próximos 12 meses. Si usted es mayor de 35 años de edad, el mayor peligro mostrado en la escalera es el de tener un ataque cardíaco (esto le ocurrirá a 1 de cada 77 personas, aproximadamente). El riesgo de que su casa sea dañada por un incendio forestal si usted vive en, o cerca de, una zona densamente arbolada (esto le ocurrirá a 1 de cada 200 propietarios de vivienda, aproximadamente) es bastante más grande que el riesgo de morir a causa de un incendio (esto le ocurrirá a 1 de cada 50,000 personas, aproximadamente).

La encuesta de FL implementó un diseño experimental factorial completamente al azar para construir los conjuntos de elección. Véase Holmes et al. (2013) para obtener información sobre la construcción del diseño factorial completo. Para la encuesta de CA empleamos un diseño factorial fraccional eficiente utilizando el software Ngene (Rose et al., 2014). Ambas encuestas utilizaron los mismos cuatro atributos del experimento de elección: (1) *riesgo* (%) o probabilidad (de 1,000) de que su casa sea dañada (por incendios forestales) en los próximos 10 años; este riesgo varió en cinco niveles, de 1% a 5%, donde el 5% fue el riesgo de partida, que se informó a los encuestados que estaba asociado a nulas inversiones nuevas en programas de protección contra incendios forestales;<sup>5</sup> (2) daño monetario (*pérdida*) a la propiedad debido a incendios forestales; los montos en dólares de la *pérdida* variaron en 10 niveles que oscilaron entre \$10,000 y \$100,000; (3) *pérdida* esperada en diez años = probabilidad x daño; el atributo # 3 no es un atributo independiente y sólo se incluyó para facilitar la comprensión de cómo interactuaban el riesgo y el daño para resultar en un "valor esperado" de los daños; y (4) *costo* de una sola ocasión para el hogar por el programa de diez años; el *costo* de los programas varió en 10 niveles, desde \$25 hasta \$1,500, por el programa Público y 9 niveles, desde \$50 hasta \$ 1,500, por el programa privado.

Se presentaron a los encuestados tres conjuntos de opciones, cada uno con tres posibles programas: (1) Prevención Pública de Incendios en los bosques alrededor de su vecindario; (2) Prevención Privada de Incendios; y (3) No hacer nada adicional. Cada programa alternativo incluyó la probabilidad de daño a la casa del entrevistado, cantidad monetaria del daño, *pérdida* esperada de diez años, y un costo de una sola ocasión para implementar el programa seleccionado de diez años. La Fig. 3 presenta un ejemplo de uno de los tres conjuntos de opciones presentados en la encuesta.

---

<sup>5</sup> Utilizamos *cursivas* para denotar las variables utilizadas en el análisis empírico.

|   | Alternativa 1                   | Alternativa 2                   | Alternativa 3            |
|---|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
|   | Prevención Pública de Incendios | Prevención Privada de Incendios | No hacer nada adicional  |
| Probabilidad de que su casa sea dañada en los próximos 10 años    | 10 en 1,000 (1%)                | 25 en 1,000 (2.5%)              | 50 en 1,000 (5%)         |
| Daño a la propiedad   | \$10,000                        | \$50,000                        | \$100,000                |
| Pérdida esperada de 10 años = Probabilidad x daño                 | \$100 durante 10 años           | \$1,250 durante 10 años         | \$5,000 durante 10 años  |
| Costo de una sola ocasión para usted por el programa de diez años | \$100                           | \$500                           | \$0                      |
| Yo elegiría:<br>Por favor seleccione una casilla                  | <input type="checkbox"/>        | <input type="checkbox"/>        | <input type="checkbox"/> |

Figura 3. Ejemplo del conjunto de elección.

## Datos

El muestreo estratificado de hogares en los dos estados fue utilizado con más propietarios de viviendas elegidos de los condados clasificados con peligro alto o extremo de incendios forestales que de aquellos con riesgo de incendio forestal mediano o bajo. Los datos fueron recolectados realizando llamadas telefónicas al azar a los hogares seguidas de una encuesta por correo enviada a los propietarios de casas individuales que proporcionaban una dirección (no encuestamos a inquilinos). Obtuvimos 922 encuestas útiles de 2,000 enviadas por correo en FL para una tasa de respuesta de 46%. En CA, de 1,449 encuestas entregables obtuvimos 429 encuestas utilizables para una tasa de respuesta de 30%.

El Cuadro 1 compara las estadísticas descriptivas acerca de los propietarios de viviendas en CA y FL. Las respuestas de la encuesta indican que cuando se trata de la experiencia con incendios forestales los propietarios de viviendas en FL y CA son bastante similares. Los propietarios de viviendas fueron similares en sus respuestas a si ellos, o un miembro de la familia, habían sufrido alguna vez efectos en su salud debido a la inhalación de humo de un incendio forestal o si habían tenido que modificar sus planes de viaje debido a incendios forestales. Las dos respuestas fueron fusionadas en una nueva variable (*Experiencia Personal*) y utilizadas para captar la influencia de la experiencia de los encuestados con los incendios forestales reales. En particular, cuarenta y tres por ciento (43%) en FL y 47% en CA han experimentado efectos en la salud o cambios en los planes de viaje debido a incendios forestales.

Después de leerles las descripciones de los escenarios de riesgo alto, medio y bajo de incendio alrededor de sus hogares y vecindarios, se preguntó a los encuestados si percibían a su casa y vecindario en riesgo alto, medio o bajo. Aquellos que pensaron que estaban en riesgo alto de incendios forestales fueron etiquetados con *riesgo alto* como nuestra variable de la medida de percepción de riesgo. Aproximadamente una décima parte de los propietarios de viviendas percibió que se encontraban en un área de riesgo alto (10% en FL y 7% en CA). Por lo tanto, en términos de experiencia con incendios forestales y de percepción de riesgo, los propietarios de viviendas de FL y CA son bastante similares. Utilizando una prueba proporcional, encontramos que hubo una diferencia significativa de medias proporcional (nivel alfa  $<.01$ ) entre CA y FL para la variable *riesgo alto*, pero no hubo diferencia significativa para la variable *experiencia personal*.

El Cuadro 1 también muestra las tres variables demográficas recopiladas. Para probar si existían diferencias estadísticamente significativas entre la edad, la educación y los ingresos de CA y FL, primero probamos si las varianzas eran iguales para estas variables entre los dos estados. Específicamente, se realizaron, de manera independiente, pruebas de Bartlett para probar el supuesto de igualdad de varianzas para las variables *edad*, *ingreso* y *nivel de escolaridad*. Los resultados sugieren que la varianza es diferente entre FL y CA para las variables *edad* y *nivel de escolaridad*. Por lo tanto, se realizaron pruebas *t* de Welch para dos muestras, las cuales asumen varianza desigual, para probar la diferencia de medias para la *edad* y el *nivel de escolaridad* y una prueba *t* para la variable *ingreso*. Los resultados muestran que los valores medios de las variables *edad*, *ingreso* y *nivel de escolaridad* son significativamente diferentes entre los dos estados. La mayor diferencia entre los propietarios de FL y CA es para la edad, con los propietarios de viviendas de FL siendo más jóvenes que los propietarios de CA por siete años. Por lo tanto, probamos si un coeficiente de interacción de la edad era estadísticamente significativo y resultó en diferencias económicamente significativas en la DAP. Además, realizamos una prueba de razón de verosimilitud para probar si los dos conjuntos de datos deberían ser agrupados o tener dos modelos separados. Los resultados sugieren que deberíamos tener dos modelos, uno para cada estado.

**Cuadro 1.** Estadísticas descriptivas de propietarios de viviendas en Florida (FL) y California (CA)

| Variable  | Descripción  | Media                             | Media                |
|---|--|-----------------------------------|----------------------|
|   |  | (D.E.)<br>FL                      | (D.E.)<br>CA         |
| <i>experiencia personal</i><br>(variable categórica)    | Si cualquiera (relacionado con la salud = 1 o modificación de viaje = 1); de otra forma = 0                              | 0.43<br>(.50)                     | 0.47<br>(0.50)       |
| <i>riesgo alto<sup>a</sup></i><br>(variable categórica) | El encuestado indicó que el hogar está ubicado en un vecindario de riesgo alto de incendio; si Sí = 1; de otra forma = 0 | 0.10<br>(0.30)                    | 0.07<br>(0.26)       |
| <i>Edad<sup>b</sup></i>                                 | Edad del encuestado  | 58<br>(15.15)                     | 65<br>(13.10)        |
| <i>Ingreso<sup>b</sup></i>                              | Ingreso anual del hogar  | \$87,178 <sup>c</sup><br>(50,283) | \$83,695<br>(51,107) |
| <i>Nivel de escolaridad<sup>b</sup></i>                 | Nivel más alto de escolaridad completado del encuestado  | 14.66<br>(2.51)                   | 15.66<br>(2.78)      |

a. Los valores medios proporcionales son significativamente diferentes entre FL y CA a nivel de alfa < .01.

b. Los valores medios son significativamente diferentes entre FL y CA a nivel de alfa < .01.

c. Ajustado al 2014.

## Modelos Econométricos de las Respuestas del Experimento de Elección

El modelo logit multinomial estándar (MNL) se basa en la idea de que cuando se enfrentan con más de una alternativa en un determinado conjunto de opciones, los encuestados eligen la alternativa que maximiza su utilidad. Los modelos de utilidad aleatorios se basan en la noción de que la utilidad es la suma de componentes sistemáticos ( $V_{nj}$ ) y aleatorios ( $\varepsilon_{nj}$ ):

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} \equiv \sum_{k=1}^K \beta_{nk} x_{jnk} + \varepsilon_{nj} \quad (1)$$

Donde  $x_{jnk}$  es un vector de K variables explicativas observadas por el analista para la alternativa j y el encuestado n,  $\beta_{nk}$  es un vector de parámetros de preferencia, y  $\varepsilon_{jn}$  es un término de error que refleja factores no observables para el investigador y por lo tanto se trata como una variable estocástica. En el modelo MNL, se asume que la variable estocástica no observada está distribuida independientemente e idénticamente distribuida (DII) siguiendo una distribución de valores extremos tipo I. La probabilidad de que el individuo n elija la alternativa j del conjunto  $\Theta$  es:

$$P_n(j) = \frac{\exp(\mu\beta x_{jn})}{\sum_{j \in \theta} \exp(\mu\beta x_{jn})} \quad (2)$$

Donde  $\mu$  es un parámetro escala que normalmente se establece como igual a uno.<sup>6</sup>

El modelo Logit Mixto (MIXL) es una generalización del modelo MNL, y permite la variación aleatoria en las preferencias, los patrones de sustitución no restringidos, y las correlaciones entre factores no observados (Train 2009). La suposición de independencia de las alternativas irrelevantes, que se impone para estimar el modelo MNL, puede ser relajada mediante la introducción de componentes estocásticos adicionales a la función de utilidad a través de  $\beta_n$ . Estos componentes permiten que los parámetros de preferencia para las variables explicativas  $x_{jnk}$  incorporen directamente la heterogeneidad:

$$\beta_{nk} = \beta_k + \Gamma v_{nk} \quad (3)$$

Donde  $\beta_k$  es el valor medio para el  $k$ -ésimo parámetro de preferencia,  $v_{nk}$  es una variable aleatoria con media cero y varianza igual a uno, y  $\Gamma$  es la diagonal principal de la matriz triangular inferior que proporciona una estimación de la desviación estándar de los parámetros de preferencia a través de la muestra. Esto sólo es cierto cuando se asume que las utilidades marginales se distribuyen normalmente entre los encuestados y la correlación de las preferencias entre los atributos es permitida.

Las probabilidades en el modelo MIXL son promedios ponderados de la fórmula logit estándar evaluada a diferentes valores de  $\beta$ . Los pesos están determinados por la función de densidad  $f(\beta|\theta)$ , donde  $\theta$  es un vector de parámetros que describe la distribución de  $f(\bullet)$ . Sea  $\pi_{nj}$  la probabilidad de que un individuo  $n$  elija la alternativa  $j$  del conjunto  $J$ , tal que

$$\pi_{nj} = \int L_{nj}(\beta X_j) f(\beta|\theta) d\beta \quad (4)$$

donde

$$L_{nj}(\beta X_j) = \frac{\exp(\mu\beta X_j)}{\sum_{j=1}^J \exp(\mu\beta X_j)} \quad (5)$$

La función  $f(\beta|\theta)$  puede ser simulada utilizando selecciones aleatorias de varias formas funcionales (Train 2009). Utilizamos selecciones de Halton de la distribución normal para estimar  $\Gamma$  para los parámetros aleatorios en el modelo MIXL. El modelo MIXL captura la heterogeneidad a través de una distribución de probabilidad continua para los parámetros de preferencia.

---

<sup>6</sup> En todos los modelos econométricos que presentamos, el parámetro escala es confundido con los parámetros  $\beta$  de interés, y por lo tanto asumimos que su valor es la unidad. En un solo conjunto de datos, el parámetro escala no puede ser recuperado.

Debido a que los datos de FL fueron recolectados en 2006 y los datos de CA fueron recopilados en 2014, necesitamos actualizar las estimaciones de la DAP de FL del año 2006 al año 2014 (Eiswerth y Shaw, 1997). Eiswerth y Shaw indican que no ven "ningún defecto" en la actualización de las estimaciones de la DAP mediante el Índice de Precios al Consumidor (IPC) para valores orientados al uso (Eiswerth y Shaw, 1997: 2382). Dado que nuestro estudio es sobre la DAP de los propietarios de viviendas por reducir el riesgo de daños a su hogar a causa de incendios forestales, la caracterizaríamos como un valor de uso y aplicamos el IPC (Oficina del Censo de los EE.UU., 2015) a los valores de la DAP estimados de 2006. En este artículo también presentamos una forma diferente de utilizar el IPC: actualizar las cantidades de "oferta" o costos solicitados a los hogares para ser pagados en el experimento de elección mediante el IPC y reestimar el modelo. Es decir, si hubiésemos aplicado nuevamente la encuesta de experimento de elección en el año 2014 en FL, habríamos establecido un vector de oferta y el monto de la pérdida de casas que fuese más alto de lo que las pruebas piloto sugirieron que era apropiado en el año 2006. Dada la considerable no linealidad en un modelo logit mixto queremos probar si estos dos enfoques (es decir, la actualización de las estimaciones del modelo de los valores de DAP *versus* la actualización de los vectores de oferta y pérdida de casas) producirá las mismas estimaciones de DAP ajustadas a mediante la inflación. Por lo tanto, comparamos los dos enfoques resultantes para actualizar la DAP mediante la inflación. *A priori*, dada la no linealidad en el modelo MIXL, no está claro si estos dos enfoques producirían estimaciones similares en la DAP.

## Resultados Econométricos

Inicialmente, los modelos MNL y MIXL fueron estimados en CA y FL. El modelo MIXL fue el más robusto en términos de coeficientes estadísticamente significativos con signos compatibles con la teoría económica. Además, la especificación del modelo MIXL mejoró en gran medida los valores del pseudo- $R^2$  en relación con el modelo MNL. Por lo tanto, en lo que resta del artículo nos centramos en los resultados del modelo MIXL. Parte de la mejora en la bondad de ajuste se debe a la significancia estadística de las desviaciones estándar de las variables. Estas desviaciones estándar tienen una interpretación relevante desde el punto de vista económico y administrativo: existe una gran heterogeneidad de preferencias o actitudes hacia lo que representa la variable. Por ejemplo, las desviaciones estándar significativas en el riesgo podrían indicar que algunas personas son más aversas al riesgo que otras, y algunas podrían incluso ser neutrales al riesgo, centrándose principalmente en el valor esperado del riesgo de pérdida y, por tanto, más tolerantes a vivir en áreas donde existe riesgo de incendios forestales. Desde un punto de vista

estadístico, controlar la heterogeneidad en las preferencias ayuda a asegurar un coeficiente insesgado sobre la variable de atributo principal en sí.

Se estimaron especificaciones idénticas de los modelos MIXL en CA y FL. Los modelos incluyeron dos Constantes Específicas Alternativas (CEA); una para el Programa Público (*programa público*) y otro para el Programa Privado (*programa privado*). Debido a que la preferencia de los entrevistados puede variar si estos se perciben como habitantes de un área de riesgo alto de incendios forestales o no, creamos un término de interacción relacionando la percepción de vivir en áreas de riesgo alto de incendios forestales (*riesgo alto*) la CEA del Programa Público de incendio forestal (*pro. público\* riesgo alto*) y la del Programa Privado (*pro. privado\* riesgo alto*). Tanto en CA como en FL, los coeficientes de ambas variables de interacción fueron positivos y estadísticamente significativos, lo que sugiere la importancia de la percepción de riesgo en la opción de pagar por los Programas Público y Privado (ver el Cuadro 2 para FL y el Cuadro 3 para CA). Los signos positivos en los dos términos de la interacción de la percepción del riesgo darán lugar a una DAP mayor para ambos programas por los propietarios de viviendas que se perciben como habitantes de áreas de alto riesgo de incendio forestal.

**Cuadro 2.** Estimaciones de los parámetros de preferencia del modelo logit Mixto (MIXL) de Florida por los programas de mitigación de riesgo de incendio forestal con parámetros aleatorios estimados para las variables riesgo y pérdida (La variable dependiente es la alternativa seleccionada en las preguntas de elección)<sup>7</sup>.

| Variable                             | Modelo Logit Mixto<br>Ofertas de Costo Originales |           | Modelo Logit Mixto<br>Ofertas de Costo Ajustadas |           |
|--------------------------------------|---|-----------|--|-----------|
|                                      | (media)   | (D.E.)    | (media)  | (D.E.)    |
| <i>riesgo (%)</i>                    | 0.1180*   | 0.8760*** | 0.1152*  | 0.8694*** |
|                                      | (0.0604)  | (0.0657)  | (0.0601)   | (0.0656)  |
| <i>riesgo*exp.<br/>personal</i>      | -0.1801**   | 0.0035    | -0.1789**  | 0.007     |
|                                      | (0.0830)  | (0.3058)  | (0.0825)   | (0.3109)  |
| <i>pérdida<br/>(\$1,000)</i>         | 0.0072**  | 0.0424*** | 0.0061**   | 0.0362*** |
|                                      | (0.0030)  | (0.0033)  | (0.0025)   | (0.0028)  |
| <i>pérdida*exp.<br/>Personal</i>     | -0.0123***  | 0.0022    | -0.012***  | 0.0025    |
|                                      | (0.0040)  | (0.0130)  | (0.0039)   | (0.0133)  |
| <i>costo (\$)</i>                    | -0.0011***  |           | -0.0009***                                       |           |
|                                      | (0.0001)  |           | (0.0001)   |           |
| <i>programa<br/>público</i>          | 0.7853***   |           | 0.7827***  |           |
|                                      | (0.1224)  |           | (0.1223)   |           |
| <i>pro.público*<br/>riesgo alto</i>  | 1.1016***   |           | 1.0968***  |           |
|                                      | (0.3087)  |           | (0.3083)   |           |
| <i>programa<br/>privad</i>           | 0.4038***   |           | 0.3978***  |           |
|                                      | (0.1257)  |           | (0.1255)   |           |
| <i>pro. privado<br/>*riesgo alto</i> | 1.4749***   |           | 1.4738***  |           |
|                                      | (0.3127)  |           | (0.3124)   |           |
| N                                    | 922   | --        | 922  | --        |
| R <sup>2</sup> de<br>McFadden        | 0.1590  | --        | 0.1587   | --        |
| Log de<br>verosimilitud              | -2556.4933  |           | -2557.4179                                       |           |

Nota: los errores estándar están entre paréntesis. El símbolo \* indica significancia al nivel 0.10, el símbolo \*\* indica significancia al nivel 0.05, el símbolo \*\*\* indica significancia al nivel 0.01. N es el número de observaciones.

En FL estimamos dos modelos: (a) el MIXL con las ofertas de costo originales (y luego aplicamos el IPC a las estimaciones de DAP resultantes) y (b) un modelo MIXL con las ofertas de costo y la cantidad monetaria de la pérdida de casas actualizada mediante la inflación. Debido a que los datos de la CA fueron estimados utilizando datos de 2014, sólo se estima un modelo MIXL.

<sup>7</sup> Para ambos análisis si utilizó la misma base inicial fija

En FL (Cuadro 2), los resultados econométricos indican que los coeficientes de *riesgo* y *pérdida* son estadísticamente significativos, pero tienen signos incorrectos. Los encuestados que no tienen experiencia personal con incendios parecen estar confundidos acerca de los atributos *riesgo* y *pérdida* y tienden a enfocarse en las etiquetas del programa. Los términos de interacción de *riesgo* y *pérdida* (encuestados con experiencia personal con incendios) son estadísticamente significativos y tienen los signos correctos, es decir, los encuestados que presentaron mayor riesgo de daño a su hogar y mayores pérdidas monetarias en la encuesta fueron más propensos a aceptar pagar los dos programas que aquellos que enfrentan riesgos menores. En CA (Cuadro 3) los resultados econométricos indican que el coeficiente variable *riesgo* es estadísticamente significativo y tiene el signo incorrecto.

De manera similar a los resultados de FL, los encuestados de CA sin experiencia personal con incendios se encuentran confundidos con el atributo *riesgo*. La *pérdida* y el término de interacción *pérdida\*experiencia personal* no son estadísticamente diferentes de cero. Tanto en FL como en CA el coeficiente del *costo* del programa es estadísticamente significativo, con el signo negativo esperado, lo que sugiere la validez interna de los resultados (es decir, cuanto mayor sea el monto en dólares que los hogares deban pagar, es menor la probabilidad de que pagasen—indicando que ellos estaban prestando atención al costo del programa para sí mismos). En ambos estados las constantes específicas alternativas para el *programa público* y el *programa privado* son estadísticamente significativas, al igual que las interacciones con la percepción de riesgo.

**Cuadro 3.** Estimaciones de los parámetros de preferencia del modelo logit Mixto (MIXL) de California por los programas de mitigación de riesgo de incendio forestal con parámetros aleatorios estimados para las variables riesgo y pérdida (La variable dependiente es la alternativa seleccionada en las preguntas de elección)

| Variable                        | Modelo logit Mixto     |                       |
|---------------------------------|------------------------|-----------------------|
|                                 | (media)                | (D.E.)                |
| <i>riesgo (%)</i>               | 0.2543**<br>(0.1035)   | 0.7889***<br>(0.1511) |
| <i>riesgo* exp. personal</i>    | -0.3807***<br>(0.1381) | 0.3717<br>(0.4223)    |
| <i>pérdida (\$1,000)</i>        | -0.0012<br>(0.0054)    | 0.0513***<br>(0.0064) |
| <i>pérdida* exp. personal</i>   | -0.0068<br>(0.0072)    | 0.0205<br>(0.0179)    |
| <i>costo (\$)</i>               | -0.0021***<br>(0.0002) | --                    |
| <i>programa público</i>         | 1.2776***<br>(0.2184)  | --                    |
| <i>pro.público.*riesgo alto</i> | 1.4399**<br>(0.6867)   | --                    |
| <i>programa privado</i>         | 0.8674***<br>(0.2317)  | --                    |
| <i>pro. privado*riesgo alto</i> | 1.9589***<br>(0.6929)  | --                    |
| N                               | 429                    | --                    |
| R <sup>2</sup> de McFadden      | 0.2393                 | --                    |
| Log de Verosimilitud            | -992.8505              | --                    |

Nota: los errores estándar están entre paréntesis. El símbolo \*\* indica significancia al nivel 0.05, el símbolo \*\*\* indica significancia al nivel 0.01.

## Resultados Promedio de la DAP

En un experimento de elección los precios implícitos (estimaciones marginales de la DAP) de los atributos se miden por el coeficiente del parámetro dividido entre el valor absoluto del coeficiente de costo. Utilizando esta fórmula y las estimaciones de los parámetros del programa de mitigación de amenazas de incendios forestales de los Cuadros 2 y 3, se puede derivar la DAP promedio de una sola ocasión por programas públicos y privados de diez años para los propietarios de viviendas de FL y CA (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** DAP de una sola ocasión, por propietario de vivienda, por acciones de diez años públicas y privadas de reducción de riesgo de incendios forestales y error de transferencia de beneficio (dólares de 2014).

|  | Propietarios de viviendas                                     |                         |  |                            |
|--|---|-------------------------|--|----------------------------|
|  | DAP Promedio de Percepción de Riesgo Bajo a Moderado Programa |                         | DAP Promedio de Percepción de Riesgo Alto Programa |                            |
|  | Público   | Privado                 | Público  | Privado                    |
|  | ----- (Intervalo de Confianza de 95%) <sup>a</sup> -----      |                         |  |                            |
| Propietarios de California   | \$610<br>(\$429, \$792)                                       | \$414<br>(\$223, \$606) | \$688<br>(\$22, \$1354)                            | \$936<br>(\$264, \$1608)   |
| Propietarios de Florida<br>DAP=IPC x Dólares Ofertados<br>(\$Bids)                     | \$831<br>(\$600, \$1062)                                      | \$427<br>(\$186, \$669) | \$1,166<br>(\$494, \$1838)                         | \$1,561<br>(\$877, \$2245) |
| Propietarios de Florida<br>DAP=IPC x Valor promedio<br>en dólares (\$MV <sub>0</sub> ) | \$832<br>(\$600, \$1064)                                      | \$422<br>(\$180, \$665) | \$1,166<br>(\$492, \$1840)                         | \$1,566<br>(\$880, \$2254) |

<sup>a</sup> El método Krinsky-Robb utilizando 10,000 selecciones fue utilizado para construir los intervalos de confianza.

#### *Actualización de los valores de la DAP mediante la inflación*

Las filas dos y tres del Cuadro 4 reportan los dos diferentes enfoques para convertir los valores de la DAP a partir de los datos de FL, de 2006, al mismo año que los datos de CA, de 2014. Resulta que existe poca diferencia entre aplicar el IPC a los valores marginales estimados utilizando los datos originales de 2006 y la alternativa de aplicar el IPC a las ofertas de costos previo a la estimación del modelo logit mixto. Por lo tanto, a pesar de la no linealidad en el modelo logit mixto, la hipótesis nula de no diferencia en los resultados utilizando cualquiera de los métodos no puede ser rechazada, y la simple actualización de las estimaciones de la DAP mediante la inflación entre los dos períodos de tiempo cuando se realice la TB parece ser un enfoque razonable.

#### *Diferencias en las Estimaciones de la DAP Promedio para Propietarios de Viviendas de Riesgo Bajo a Moderado Comparados con Propietarios de Riesgo Alto*

Los montos en dólares reportados en la segunda y tercera columnas del Cuadro 4 son las estimaciones de la DAP por el Programa Público o el Programa Privado para aquellos encuestados que se perciben como habitantes de áreas de riesgo de incendio bajo a moderado. Entre los hogares que perciben un riesgo bajo a moderado, la DAP

es bastante más alta por el Programa Público que para el Programa Privado en los alrededores de sus hogares, tanto en CA como en FL. Aparentemente, si usted percibe un riesgo bajo de incendio preferiría reducir el riesgo de incendio en los bosques de los alrededores de la comunidad en vez de reducir los árboles y arbustos cercanas a su propio patio. Sin embargo, para aquellos hogares que perciben un riesgo alto de incendios forestales, las columnas cuatro y cinco indican una mayor DAP por el Programa Privado alrededor de su hogar en vez de en los bosques de los alrededores de su comunidad, tanto en CA como en FL.

Las cantidades de DAP de los propietarios que perciben un riesgo bajo a moderado son más bajas por los Programas Público y Privado que aquellos propietarios de viviendas que perciben un riesgo alto de incendios forestales para su hogar y vecindario. Esta diferencia en la DAP es especialmente cierta para emprender las acciones Privadas de reducción de riesgo en los alrededores de su propia casa. La DAP mayor de los propietarios que perciben un riesgo alto de daños tiene sentido ya que los propietarios de viviendas que perciben un riesgo alto probablemente sientan que se beneficiarán más de un determinado programa de reducción de riesgo de incendio que aquellos propietarios que piensan que sólo tienen un riesgo bajo de incendio.

## **Discusión**

Los propietarios de viviendas en ambos estados parecen similares en cuanto a la experiencia previa con los efectos sobre la salud y las modificaciones de viaje asociados con los incendios forestales. Sin embargo, la DAP de FL consistentemente mayor que la de CA, puede ser congruente con tres diferencias entre los propietarios de viviendas en FL y CA. Mientras que parecía que había porcentajes similares de propietarios de viviendas en cada uno de los dos estados percibiendo que sus hogares/vecindarios se ubicaban en un riesgo alto de incendios forestales, las percepciones de riesgo de los propietarios de viviendas de FL fueron estadísticamente más altas que en CA. Como se muestra empíricamente en este artículo, las percepciones más altas de riesgo se traducen en mayores cantidades de DAP. Además, los ingresos de los propietarios de viviendas de FL también fueron estadísticamente más altos que los ingresos de los de CA.

Otro factor que podría ayudar a explicar las diferencias en la DAP entre FL y CA son las diferencias en la edad del propietario de vivienda. En particular, las edades de los propietarios de viviendas que respondieron son estadísticamente diferentes entre FL y CA, con la edad de los propietarios de vivienda de FL siete años menor que la edad de los propietarios de CA. Para determinar si la edad fue un factor significativo en la selección de programas alternativos de incendios, corrimos un

modelo logit mixto que hizo interactuar a la edad con el Programa Público y el Programa Privado. En FL estos coeficientes de interacción fueron negativos y significativos, pero no en CA. En FL, los propietarios de viviendas con edades más avanzadas tienen menor DAP. Sin embargo, la DAP más alta en FL que en CA es consistente con que los propietarios de viviendas de FL son significativamente y sustancialmente más jóvenes que los propietarios de CA.

## Conclusiones

Se realizaron encuestas de experimentos de elección idénticas a los propietarios de viviendas en CA y FL para estimar la DAP de los propietarios por un Programa Público para reducir el riesgo de incendios forestales en el vecindario donde viven, y por un Programa Privado para reducir el riesgo de incendios forestales en los alrededores de sus hogares. Ajustamos las estimaciones de la DAP de FL del 2006 al 2014 utilizando dos métodos. El primer método consistió en utilizar el IPC para actualizar los valores estimados de la DAP del 2006 al 2014. Para el segundo método, actualizamos las cantidades de "oferta" o costo que se pide pagar a los hogares en el experimento de elección mediante el IPC y reestimamos el modelo. No encontramos diferencias en el método utilizado.

Los resultados muestran que la DAP de los propietarios de viviendas de FL por cada uno de los dos programas es consistentemente más alta que la de los propietarios de CA. También encontramos resultados similares a los de Holmes et al. (2013) en cuanto a que los encuestados sin experiencia personal con incendios están confundidos con respecto a los niveles de *riesgo* y *pérdida* presentados en el experimento, ya que los parámetros de la estimación tienen el signo equivocado. Además, los resultados muestran que la selección de los encuestados está basada en el atributo *costo* y ligada a las etiquetas del programa de mitigación de incendios.

En general, los resultados sugieren que la prioridad más alta para los fondos de costo compartido se dirigiría a los propietarios de viviendas en áreas que perciben que sus casas están en riesgo alto y especialmente a compartir acciones privadas en sus propios predios. Por lo tanto, nuestros resultados serían de utilidad para el USFS para orientar los fondos de costo compartido en términos de en qué tipos de acciones/programas compartir los costos y a qué estados dar prioridad al financiamiento. En particular, los resultados sugieren que el orden de prioridad sería dirigir las acciones privadas de participación en los costos entre los hogares de Percepción de Riesgo Alto en FL, seguido de las acciones privadas de los hogares de Riesgo Alto de CA. Estos resultados podrían ayudar al USFS a optimizar su asignación de los escasos fondos de costos compartidos entre los estados y las acciones públicas vs las privadas.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Dr. Juan Marcos González del *Research Triangle Institute* por sus comentarios y sugerencias. Esta investigación fue financiada por el Servicio Forestal del USDA bajo el Acuerdo Conjunto de Investigación 13-JV-11272131064 y el Proyecto de Investigación Regional W3133 de la Universidad Estatal de Colorado.

## Referencias

- Eiswerth M, Shaw D** 1997. Adjusting benefit transfer values for inflation. *Water Resources Research* **33**, 2381-2385.
- Holmes T, González-Cabán A, Loomis J, Sánchez J.** 2013. The effects of personal experience on choice-based preferences for wildfire protection programs. *International Journal of Wildland Fire* **22**, 234-245.
- Krupnick A, Alberini A, Cropper M, Simon N, O'Brien B, Goeree R, Heintzelman M.** 2002 Age, health and the willingness to pay for mortality risk reductions: A contingent valuation survey of Ontario residents. *Journal of Risk and Uncertainty* **24**, 161-186.
- Loomis J, duVair P.** 1993. Evaluating the effect of alternative risk communication devices on willingness to pay: Results from a dichotomous choice contingent valuation experiment. *Land Economics* **69**, 287-298.
- Loomis J, González-Cabán A.** 2010. Forest Service use of nonmarket valuation in fire economics: Past, present, and future, *Journal of Forestry*, **108**(8), 389-396.
- Rose JM, Collins AT, Bliemer MC, Hensher DA.** (2014). Ngene 1.1.2 stated choice experiment design software. <http://www.choice-metrics.com/index.html>
- Smith VK, Desvousges W.** 1987. An empirical analysis of the economic value of risk changes. *Journal of Political Economy* **95**, 89-114.
- Train KE.** 2009. 'Discrete choice methods with simulation', 2<sup>nd</sup> Edition. (Cambridge University Press: New York).
- US Census Bureau.** 2015. 2009-2013 American community survey. Available at: <http://www.census.gov/programs-surveys/acs/>. Accessed April 2015.
- Walker S, Rideout D, Loomis J, Reich R.** 2007. Comparing the value of fuel treatment options in northern Colorado's urban and wildland-urban interface areas. *Forest Policy and Economics* **9**, 694-703.

# **La integración de herramientas económicas y teledetección en la evaluación del impacto de los incendios forestales. Aplicación al incendio de "Alhama de Almería" (España)<sup>1</sup>**

**Juan Ramón Molina<sup>9</sup>, Francisco Rodríguez y Silva<sup>2</sup>, Laura Ruiz<sup>9</sup>**

## **Resumen**

La valoración de los recursos naturales requiere de una visión multifuncional, incorporando tanto los recursos tangibles como los servicios ambientales y los bienes paisajísticos. Aunque la teledetección ha sido ampliamente utilizada en materia de incendios forestales, ésta no ha sido aplicada desde el punto de vista de la valoración económica de los daños provocados por los incendios forestales. La incorporación de la teledetección a la evaluación económica de daños y perjuicios proporciona una herramienta de innumerables beneficios, permitiendo la delimitación y valoración de grandes incendios forestales a un coste bajo en relación al monitoreo del terreno y, disponiendo de información periódica acerca del comportamiento post-incendio de la vegetación.

Se incluye una propuesta para la evaluación económica de los daños ocasionados por el incendio de Alhama de Almería (3.260 ha), basada en las formulaciones económicas del Visual SEVEIF y en las imágenes de satélite Landsat 8. Las imágenes de satélite constituyen una importante fuente de información georreferenciada del "cambio en el valor neto del recurso" mediante la clasificación de los índices de la vegetación en ratios de depreciación del fuego, en base a la intensidad del fuego. El índice dNBR aporta una clasificación de la severidad más fidedigna que el RdNBR para el incendio de Alhama de Almería, debido al efecto impulsador ("boosting") originado por los valores NBR pre-fuego, fruto de la escasa

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación, y Economía de los Incendios Forestales: Servicios ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Forestal. Laboratorio de Incendios Forestales (LABIF-UCO). Universidad de Córdoba, Edificio Leonardo da Vinci, Campus de Rabanales, 14071, Córdoba, España

vegetación, baja precipitación y gran insolación de la zona. La valoración económica de los daños ocasionados por el incendio de Alhama ascendió a 656,981 € o 201.53 €/ha, siendo los recursos de mayor peso los bienes paisajísticos, dada la cercanía con la capital de la provincia. Destaca la importancia relativa de los servicios ambientales y bienes paisajísticos en la valoración, alcanzando más del 57% de las pérdidas totales.

Palabras claves: Daños económicos, índices de vegetación, servicios ambientales, valoración de recursos, valoración de intangibles.

## **Introducción**

Los cambios socioeconómicos y la acentuación del cambio climático están modelando a una reestructuración de los paradigmas de la gestión forestal, adoptando una función multifuncional, con los servicios ambientales y bienes paisajísticos como protagonistas (Constanza y otros 1997). La valoración integral de los daños sobre los recursos naturales es fundamental para la planificación efectiva frente a perturbaciones, mitigando los impactos derivados de la ocurrencia de una perturbación sobre la población rural (Vélez 2009). En este sentido y en ámbito mediterráneo, un procedimiento metodológico, que permita la integración de herramientas económicas y variables de cambio del valor neto de los recursos en función del comportamiento del fuego, puede adquirir una gran utilidad práctica tanto desde el punto de vista preventivo como post-fuego. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) adoptan un papel esencial, tanto para el diseño de planes de defensa contra incendios forestales como para la optimización de los mismos (Chuvieco y otros 2010). Es por ello, que todo el procedimiento metodológico se ensambla en un SIG, facilitando la elaboración de cartografía de monitoreo espacio-temporal y el apoyo en la toma de decisiones de restauración y defensa contra incendios forestales.

La valoración económica de los daños ocasionados por un gran incendio forestal requiere de un intenso trabajo de campo, consumiendo gran cantidad de recursos humanos y económicos, los cuales en muchos casos carecen por su presencia. En este sentido, son muchos los estudios que han señalado el potencial de las imágenes de satélite para la identificación del área quemada y los distintos niveles de severidad y/o daño (Chuvieco y otros, 2005). Los beneficios de la teledetección se asocian a su capacidad de medición de grandes superficies, su bajo coste por unidad de superficie y la disponibilidad de información periódica. Sin embargo, también presenta limitaciones en el estrato inferior del dosel arbóreo o algunos tipos de bosque (Miller y Thode 2007, Soverel y otros 2010) y, en la valoración económica, dada la dificultad de estimar algunas variables (Rodríguez y Silva y otros 2013a), por lo que todo trabajo con imágenes de satélite requiere de un trabajo de campo, tanto para su calibración como para su validación.

La identificación de los diferentes niveles de daño o severidad de un incendio vendrán determinado por las diferencias espectrales existentes entre el momento previo al fuego y el posterior a su paso, empleando para ellos índices de la vegetación, como el "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI), el "Normalized Burn Ratio" (NBR) y el "Relative differenced Normalized Burn Ratio" (RdNBR) (Key y Benson 2006, Miller y Thode 2007). A pesar de las diferencias espectrales asociadas a la estacionalidad anual, la reflectancia de los diferentes suelos y el tiempo transcurrido desde la ocurrencia del incendio, estos trabajos han obtenido un alto ajuste para la determinación de niveles de afección. En la misma línea, se presenta el estudio de nuestro Laboratorio con imágenes MODIS (Rodríguez y Silva y otros 2013a), el cual obtuvo buen ajuste para grandes incendios en el sur de España. En este estudio, aunque el incendio dispone de una superficie considerable para el empleo de MODIS (de acuerdo a nuestros resultados preliminares), se ha optado por el empleo de imágenes Landsat 8. El cambio de sensor remoto se encuentra justificado en la mayor calidad de la resolución espacial, si bien este hecho implica la realización de una mejora de la cartografía de valoración de los recursos naturales.

El objetivo general de este estudio es la propuesta de un procedimiento metodológico para la evaluación económica georreferenciada de los impactos generados por un incendio forestal. La valoración de los daños requiere de una caracterización previa de los recursos, la identificación de los diferentes niveles de intensidad del fuego y la obtención de una relación fidedigna entre la reflectancia de cada píxel y el daño sobre la vegetación.

## **Material y métodos**

### **Área de estudio**

La aplicación metodológica se realiza en Almería (España), siendo ésta la provincia situada más al sureste de la Península Ibérica (Figura 1). La selección de este incendio responde a su tamaño (3.260 ha), su época de ocurrencia (en invierno fuera de la época de máximo peligro), la gran propiedad privada (dificultad para el inventario) y la diversidad paisajística, con presencia de zonas arboladas densas, arboladas ralas y desarboladas.

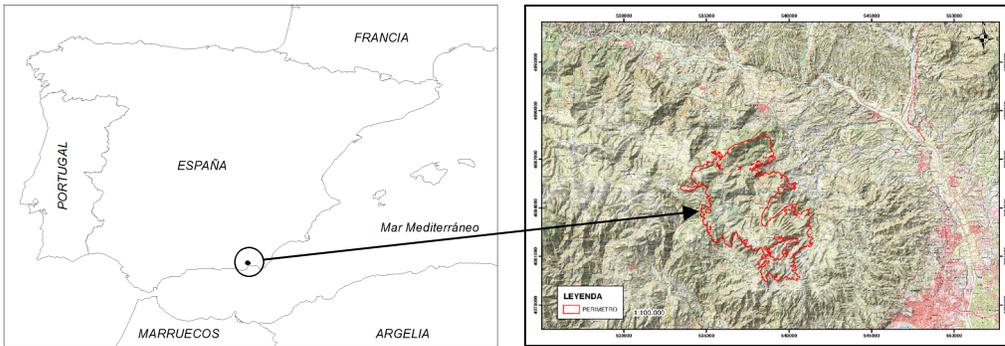


Figura 1- Localización del incendio de Alhama de Almería

## Procedimiento metodológico

La valoración de los impactos económicos provocados por un incendio forestal, mediante la integración de herramientas económicas y de teledetección, requiere de cuatro fases (Ruíz, 2015), interrelacionados entre sí (Figura 2):

- Valoración económica de los recursos naturales
- Identificación espacial de los diferentes niveles de afectación
- Identificación y testado de los niveles de severidad
- Identificación del cambio neto en el valor de los recursos

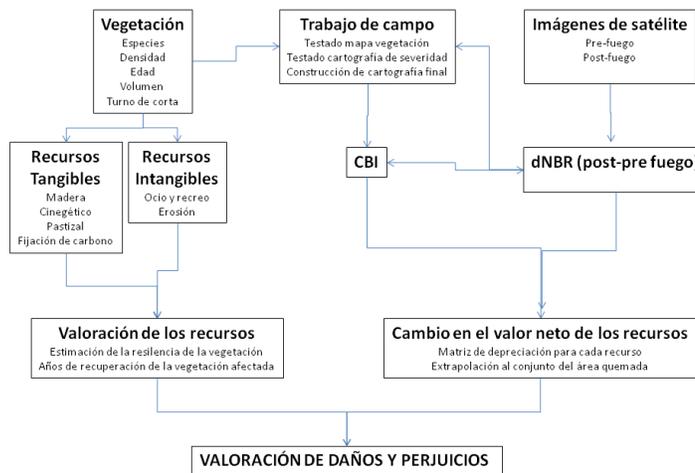


Figura 2- Marco metodológico para la evaluación económica (Ruíz 2015)

### Valoración económica de los recursos naturales

La valoración de los recursos naturales responde a las formulaciones matemáticas de la aplicación Visual SEVEIF, descritas en Rodríguez y Silva y otros (2013a, 2013b). En el caso del incendio de Alhama, se han incluidos cuatro recursos

tangibles: maderero (Rodríguez y Silva y otros 2012), aprovechamiento cinegético (Zamora y otros 2010), aprovechamiento pastoral (Molina y otros 2011), fijación de carbono (Molina y otros 2009); y cinco recursos intangibles: protección de la erosión, biodiversidad, paisaje, ocio y recreo y no uso (Molina y otros 2009). La valoración económica de todos ellos responde a las formulaciones matemáticas recopiladas en la Figura 3, utilizando la experiencia de los técnicos de la zona para la imposición de turnos de corta o madurez, la resiliencia de las agrupaciones vegetales y la edad de las masas afectadas. La cubicación de las masas arbóreas fue realizada a partir de los datos de los proyectos de ordenación de los montes públicos y de los datos suministrados por el Inventario Forestal Nacional. La renta cinegética y pastoral se obtuvo de acuerdo a los planes técnicos de caza y de aprovechamientos en vigor aprobados por la Administración Regional. La valoración de la biodiversidad se realizó en base al nivel de protección de las especies presentes, de acuerdo a un estudio regional realizado por la Universidad de Córdoba. Para la valoración indirecta de los bienes paisajísticos, y ante la ausencia de información para el área de estudio, se seleccionó un valor medio de un área similar a la quemada, con núcleos urbanos en las proximidades. El número de visitantes anual fue establecido en base a la experiencia de los agentes de medio ambiente de la zona.

| Recurso   | Fórmula   | Estado del recurso            | Fuente                              |
|---|---|-------------------------------|-------------------------------------|
| Maderero  | $V_{masa} = (1,7 * E * B) / (E + 0,85 * B)$                                   | Maduro e inmaduro             | Rodríguez y Silva y otros 2012      |
|   | $E = C_0 * p [i^* + g(i^* - 1)] + A * (i^* - 1)$                              | Inmaduro                      |                                     |
|   | $E = (C_0/z) * t [i^* + g(i^* - 1)] + (C_0/z) * 0,5 * (i^* - 1)$              | Latizal                       |                                     |
|   | $E = [P * V - P_1 * V_1] + P * V [(i^{(T-n)} - 1) / (i^{(T-n)})]$             | Fustal                        |                                     |
|   | $B = [(V * P * 1,025^n) / 1,04^n] * [1 - (1,025 / 1,04)^n] * [1 + X * h * p]$ | Inmaduro                      |                                     |
|   | $B = V * h * t [R * P + (1 - R) * P_1]$                                       | Maduro                        |                                     |
| Aprovechamiento de leñas  | $V_{leñas} = P_x * R_x * [(1+i)^n - 1] / (i * (1+i)^n)$                       | Maduro                        | Martínez, 2000; Molina y otros 2011 |
| Cinegético  | $V_{cin} = P_x * R_x * [(1+i)^n - 1] / (i * (1+i)^n) + S$                     | Coto de caza                  | Zamora y otros 2010                 |
| Fijación de carbono   | $V_{carb} = CF * PM + IF * PM * RC * [(1+i)^{T-n} - 1] / (i * (1+i)^{T-n})$   | Masa arbolada                 | Molina, 2008                        |
| Control de la erosión   | $V_{eros} = R_1 * P_1 + R_2 * P_2 [(1+i)^n - 1] / (i * (1+i)^n)$              | -                             | Molinay otros 2009                  |
| Biodiversidad faunística; Recurso paisajístico; Recurso ocio y recreo; Recurso no uso | $V_{biod/paisaj/ocio/recreo} = R_x * [(1+i)^n - 1] / (i * (1+i)^n)$           | Presencia especies singulares | Molina, 2008                        |

donde E es la valoración maderera en base al planteamiento tradicional español (€/ha), B es la valoración maderera adaptada del Modelo Americano (€/ha), Co es el coste de repoblación de una hectárea de terreno (€/ha), p es el porcentaje de la masa afectada por el fuego, i es el tanto por uno de interés anual, g es anualidad dependiente del turno de la especie, A es el valor de una hectárea de suelo sin arbolado (€/ha), e es la edad estimada de la masa en el momento del incendio, V es el volumen de madera expresado en m<sup>3</sup>/ha, P es el precio del m<sup>3</sup> de madera apeada (€), n es el número de años que restan hasta el hipotético turno de corta, X es el coeficiente de mortalidad dependiente de la severidad de las llamas, h es el porcentaje de la especie en el dosel, z es la reducción del coste de repoblación por el fenómeno auto-regenerativo en función del turno, P<sub>1</sub> es el precio de la madera dañada con aprovechamiento comercial (€/m<sup>3</sup>), V<sub>1</sub> es el volumen de madera dañada con aprovechamiento (m<sup>3</sup>/ha), P<sub>x</sub> es el precio por unidad de medida del recurso (€), R<sub>x</sub> es la renta anual por unidad de superficie, S es el stock reproductivo por unidad de superficie (€), CF es la cantidad de CO<sub>2</sub> retenida en el momento del incendio (t/ha), PM es el precio de la tonelada fijada (€/t), IF es el incremento anual de CO<sub>2</sub> retenido (t/ha), RC es la renta generada al fijar una tonelada de carbono en un año (€), R<sub>1</sub> es la cantidad de suelo media perdida el primer año (t/ha), P<sub>1</sub> es el precio estimado para la tonelada (€), R<sub>2</sub> es la cantidad de suelo media perdida hasta la recuperación de la cobertura original (t/ha).

**Figura 3-** Formulaciones matemáticas de la aproximación SEVEIF para la valoración de los recursos naturales (Rodríguez y Silva 2013a, 2013b)

### Identificación espacial de los diferentes niveles de afectación

Las imágenes pre y post-incendio utilizadas son imágenes Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). La identificación espacial de los diferentes niveles de severidad fue testada mediante tres índices de la vegetación (Cuadro 1), seleccionando aquel de mayor bondad estadística para el área de estudio en base a las características de reflectancia locales.

**Cuadro 1- Índices de vegetación testados para la identificación de los niveles de severidad**

| Índice vegetación | Ecuación  | Rango        |
|-------------------|---|--------------|
| NBR               | $NBR = \frac{(R5 - R7)}{(R5 + R7)} * 1000$        | -1000 a 1000 |
| dNBR              | $dNBR = (NBR_{pre} - NBR_{post})$                 | -2000 a 2000 |
| RdNBR             | $RdNBR = \frac{dNBR}{\sqrt{Abs(NBR_{pre})}/1000}$ | -2000 a 2000 |

**Identificación y testado de los niveles de severidad**

La información proporcionada por los índices de vegetación fue testada en campo durante el otoño posterior al incendio. La evaluación de severidad se fundamenta en el protocolo "Composite Burned Index" (CBI) (Key y Benson, 2005), el cual cuantifica los niveles de daño mediante variables fácilmente identificadas por inventarios de campo (color suelo, presencia de materia orgánica, pérdida de hojas, cambio en el color de la vegetación y mortalidad de la vegetación) para cada uno de los componentes del ecosistema: suelo, pastizal, matorrales y regenerado, árboles menores de cinco metros y árboles mayores de cinco metros (Figura 4).

| BURN SEVERITY—COMPOSITE BURN INDEX (CBI)                                  |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
|---|--|-------------|-------------------|----------------|------------------------|---------------------|--------------|----------------------------|--|-----------------------|--|
| DATOS GENERALES   |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| NOMBRE DEL INCENDIO:  |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| FECHA DEL INCENDIO:   |  |             |                   |                | FECHA (TOMA DE DATOS): |                     |              |                            |  |                       |  |
| TERMINO MUNICIPAL:  |  |             |                   |                | PROVINCIA:             |                     |              |                            |  |                       |  |
| COORDENADAS UTM (CENTRO PARCELA):   |  |             |                   |                | X: Y:                  |                     |              |                            |  |                       |  |
| DATOS DE LA PARCELA   |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| SECTOR:   |  | NF PARCELA: |                   |                | PENDIENTE (%):         |                     |              |                            |  |                       |  |
| EXPOSICIÓN:   |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| NF FOTOS PARCELA:   |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| % QUEMADO DENTRO DE LA PARCELA:   |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| ESCALA DE SEVERIDAD   |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| FACTORES DE CLASIFICACIÓN DE ESTRATOS                                     |  | SIN QUEMAR  |                   | BAJA           |                        | MODERADA            |              | ALTA                       |  | Calificación          |  |
|   |  | 0.0         | 0.5               | 1.0            | 1.5                    | 2.0                 | 2.5          | 3.0                        |  |                       |  |
| A. SUBSTRATOS   |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| % Cobertura Pre-incendio: Hojarrasca:                                     |  |             | Materia orgánica: |                |                        | Suelo/roca:         |              |                            |  |                       |  |
| % Profundidad Pre-incendio: Hojarrasca:                                   |  |             | Materia orgánica: |                |                        | Cama de comb.:      |              |                            |  |                       |  |
| Hojas/Comb. Fino consumido:   |  | sin cambios | -                 | 20% Hojarrasca | -                      | 100% Hojarrasca     | >80% C. fino | 95% C. fino                |  |                       |  |
| Mat. Orgánica:  |  | sin cambios | -                 | Poco quemado   | -                      | 50% profun. quemado | -            | Consumido                  |  |                       |  |
| Comb. Medio (7.6-20.3 cm):  |  | sin cambios | -                 | 20% Consumido  | -                      | 40% Consumido       | -            | >80% Consumido             |  |                       |  |
| Comb. Grueso (> 20.3 cm):   |  | sin cambios | -                 | 10% perdido    | -                      | 25% perdido         | -            | >40% perdido               |  |                       |  |
| Suelo/Color:  |  | sin cambios | -                 | 10% cambio     | -                      | 40% cambio          | -            | >80% cambio                |  |                       |  |
| B. HERBAZALES, MATORRALES BAJOS Y REGENERADO DE <5m                       |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| % Cobertura pre-incendio: % Crecimiento aumentado:                        |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| % Follaje alterado:   |  | sin cambios | -                 | 30%            | -                      | 80%                 | 95%          | 100%+ ramas perdidas       |  |                       |  |
| % Vivo:   |  | 100%        | -                 | 80%            | -                      | 30%                 | <20%         | Ninguno                    |  |                       |  |
| Colonizadores:  |  | sin cambios | -                 | Baja           | -                      | Moderada            | Alta         | Bajo para ninguno          |  |                       |  |
| Comp.sp/Ab.res:   |  | sin cambios | -                 | Cambio pequeño | -                      | Cambio moderado     | -            | Gran cambio                |  |                       |  |
| C. MATORRALES ALTOS Y REGENERADO DE 5 a 5 m                               |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| % Cobertura pre-incendio: % Crecimiento aumentado:                        |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| % Follaje alterado:   |  | 0%          | -                 | 20%            | -                      | 60-80%              | >85%         | Signif. Ramas perdidas     |  |                       |  |
| % Vivo:   |  | 100%        | -                 | 80%            | -                      | 30%                 | <15%         | <1%                        |  |                       |  |
| % Cambios en cobertura:   |  | sin cambios | -                 | 15%            | -                      | 70%                 | 90%          | 100%                       |  |                       |  |
| Comp.sp/Ab.res:   |  | sin cambios | -                 | Cambio pequeño | -                      | Cambio moderado     | -            | Gran cambio                |  |                       |  |
| D. ÁRBOLES INTERMEDIOS > 5 m  |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| % Cobertura pre-incendio: NI vivos pre-incendio: NI muertos pre-incendio: |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| % Verde (no alterado):  |  | 100%        | -                 | 80%            | -                      | 40%                 | <10%         | Ninguno                    |  |                       |  |
| % Negro (alterado):   |  | Ninguno     | -                 | 5-20%          | -                      | 60%                 | >85%         | 100%+ ramas perdidas       |  |                       |  |
| % Marrón (Chamuscado):  |  | Ninguno     | -                 | 5-20%          | -                      | 40-80%              | <40 or >80 % | Ninguno por el entorche m. |  |                       |  |
| % Mortalidad:   |  | Ninguno     | -                 | 15%            | -                      | 60%                 | 80%          | 100%                       |  |                       |  |
| Altura de chamuscado:   |  | Ninguno     | -                 | 1.5 m          | -                      | 2.8 m               | -            | > 3 m                      |  |                       |  |
| CBI   |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| Pre-incendio:   |  |             | % en fajas:       |                |                        | % Taisado:          |              |                            |  | % Mortalidad árboles: |  |
| E. ÁRBOLES GRANDES (DOMINANTES, CODOMINANTES)                             |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| % Cobertura pre-incendio: NI vivos pre-incendio: NI muertos pre-incendio: |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| % Verde (no alterado):  |  | 100%        | -                 | 85%            | -                      | 30%                 | <10%         | Ninguno                    |  |                       |  |
| % Negro (alterado):   |  | Ninguno     | -                 | 5-10%          | -                      | 30%                 | >80%         | 100%+ ramas perdidas       |  |                       |  |
| % Marrón (Chamuscado):  |  | Ninguno     | -                 | 5-10%          | -                      | 30-70%              | <30 or >70 % | Ninguno por el entorche m. |  |                       |  |
| % Mortalidad:   |  | Ninguno     | -                 | 10%            | -                      | 30%                 | 70%          | 100%                       |  |                       |  |
| Altura de chamuscado:   |  | Ninguno     | -                 | 1.8 m          | -                      | 4 m                 | -            | > 7 m                      |  |                       |  |
| CBI   |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| Pre-incendio:   |  |             | % en fajas:       |                |                        | % Taisado:          |              |                            |  | % Mortalidad árboles: |  |
| OBSERVACIONES:  |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |
| CBI= SUMA DE LAS CALIFICACIONES/N MEDIDAS                                 |  |             |                   |                |                        |                     |              |                            |  |                       |  |

**Figura 4- Estadillos de campo para la evaluación del "Composite Burn Index"**

Las parcelas de evaluación del CBI (de 30 m de radio y espaciadas al menos 90 m entre ellas) se estratificaron en base a la representatividad de cada nivel de severidad. Una vez completado el inventario, se realizó un análisis estadístico utilizando el CBI como variable independiente, y el valor de los índices de la

vegetación como variable dependiente. El software SPSS<sup>(C)</sup> permitió el cálculo de la matriz de confusión y el estadístico Kappa identificando el mejor índice de la vegetación para la zona de estudio.

#### Identificación del cambio neto en el valor de los recursos

La identificación previa de los niveles de severidad del fuego, con ayuda de las imágenes de satélite y apoyada en el inventario de campo, permitió asignar un cambio neto en el valor de los recursos (Rodríguez y Silva y González-Cabán 2010) en base al grado de afección del fuego. Este cambio no será homogéneo para todos los recursos, sino que se establecerá de forma individual, en base a algún parámetro identificable en el inventario de campo. Dada su sencillez de identificación in-situ, se utilizó la longitud de llama como variable para la identificación del grado de deterioro de cada recurso, de forma análoga a otros estudios (Zamora y otros 2010, Molina y otros 2011, Rodríguez y Silva y otros 2012).

Se consideraron en un primer momento los ratios de depreciación obtenidos en estos trabajos y en los proyectos de investigación FIREMAP, SINAMI e INFOCOPAS, a partir del análisis medio de gran cantidad de incendios en Andalucía, si bien el trabajo de campo permitirá ajustar y validar dichos intervalos para las condiciones locales del área de estudio.

## **Resultados**

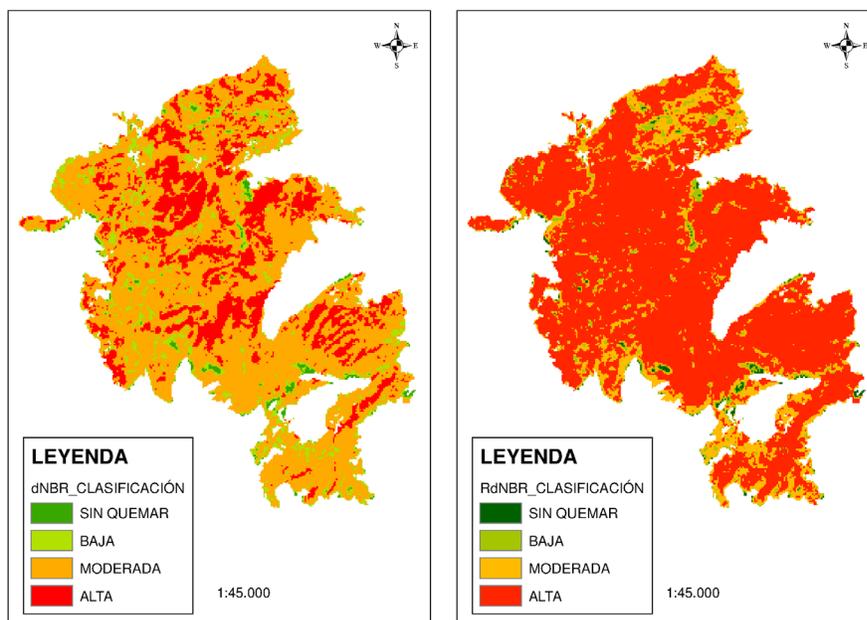
### **Valoración económica de los recursos naturales**

La valoración de los recursos del área quemada ascendió a 1.074.798 €, lo que representa en términos de afectación económica por unidad de superficie un valor de 329,69 €/ha. Los recursos tangibles (recurso maderero, cinegético y pasto) y los bienes paisajísticos (recurso paisaje, ocio y recreo y no uso) supusieron un 40,95% y 40,85% respectivamente, alcanzando valores porcentuales muy similares. Dado que la principal actividad económica de los montes afectados por el incendio es la cinegética, este recurso también alcanzó una valoración importante dentro de la tasación (298.601 €).

### **Identificación espacial de los niveles de afectación**

La identificación de los niveles de severidad arrojó resultados dispares en base al índice de vegetación utilizado, independientemente del uso de una clasificación continua o categorizada. El NDVI fue el que presentó peor ajuste, siendo mejorado por los índices dNBR y RdNBR, si bien también se presentaron diferencias entre ellos (Figura 5). Mientras un 66.92% de la superficie quemada se categorizó como

"severidad moderada" bajo el índice dNBR, la cifra baja a un 17.84% bajo el índice RdNBR. Este hecho se debe a un resultado más desfavorable del RdNBR, que asciende a gran cantidad de la superficie a "severidad alta".



**Figura 5-** Identificación de la severidad mediante dNBR y RdNBR (Ruíz 2016)

### Identificación y testado de los niveles de severidad

El testado estadístico del trabajo de campo de severidad con la información facilitada por las imágenes de satélite observó una tendencia general hacia modelos potenciales de relación entre CBI y el nivel de reflectancia. El índice de vegetación dNBR proporcionó una información más fidedigna que el índice RdNBR, de acuerdo al coeficiente de determinación (0,706 frente a 0,604). El ajuste se incrementó considerablemente para las zonas arboladas (0,827).

De forma análoga, la matriz de confusión arrojó mejores ajustes para el dNBR que para el RdNBR (más del 82% de ajuste para el primero de ellos en comparación con menos del 50% del segundo). Los principales errores en la clasificación de los niveles de severidad del fuego se produjeron en las clases inferiores (severidad baja y moderada), siendo la primera la que acumula un mayor porcentaje de clasificaciones incorrectas, tanto para CBI-dNBR como para CBI-RdNBR. El estadístico Kappa presentó un valor para dNBR de 0.751.

## Identificación del cambio neto en el valor de los recursos

Del análisis de la severidad del fuego (relación entre índices de la vegetación y CBI), se obtuvo una única representación categórica (severidad baja, severidad moderada y severidad alta). Sin embargo, la presencia de áreas matorralizadas, masas arboladas en estado latizal y en masas en estado fustal, llevo a la premisa de la insuficiencia de tres niveles para la representación del "cambio en el valor neto" de los recursos para toda el área quemada. Por tanto, se atendió a una nueva reclasificación en seis niveles de intensidad del fuego (NIF), en base a la longitud de llama media identificada por los inventarios de campo (Cuadro 2).

**Cuadro 2**—Índices de vegetación testados para la identificación de los niveles de severidad

| Vegetación              | Categorización  | Longitud llama (m) | NIF |
|-------------------------|-----------------|--------------------|-----|
| Áreas desarboladas      | Severidad baja  | < 2                | I   |
| Masas en estado latizal | Severidad media | 3-6                | III |
|                         | Severidad alta  | 6-9                | IV  |
| Masas en estado fustal  | Severidad baja  | 2-3                | II  |
|                         | Severidad media | 9-12               | V   |
|                         | Severidad alta  | >12                | VI  |

## Valoración del impacto del fuego

La valoración económica de daños y perjuicios del incendio de Alhama ascendió a 656,981 €, lo que se corresponde con un valor unitario en relación con la superficie afectada de 201.53 €/ha. De esta cantidad, el impacto de las llamas sobre los bienes tangibles (maderero, cinegético y pastizal aprovechado por el ganado) constituyó el 42.32% del total de los perjuicios provocados por el incendio. Por su parte, el impacto sobre los bienes paisajísticos (paisaje, ocio y recreo y no uso) representó un 39.11% del total de los daños económicos (Cuadro 3).

**Cuadro 3-**Valoración económica por recursos del incendio de Alhama de Almería

| Recurso               | Pérdida (€)       | Representatividad (%) |
|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| Recurso maderero      | 99,558.78         | 10.52                 |
| Recurso cinegético    | 205,979.48        | 31.35                 |
| Recurso pastoral      | 2,944.61          | 0.45                  |
| Fijación de carbono   | 55,192.18         | 8.40                  |
| Control de la erosión | 40,516.88         | 6.17                  |
| Biodiversidad         | 26,273.04         | 3.99                  |
| Paisaje               | 57,419.42         | 8.74                  |
| Ocio y recreo         | 20,004.11         | 3.04                  |
| No uso                | 179,545.54        | 27.33                 |
| <b>TOTAL</b>          | <b>656,981.04</b> |                       |

## Discusión

La valoración económica del incendio de Alhama refleja la realidad multifuncional de los bosques mediterráneos. Los recursos tangibles sólo suponen una pequeña cantidad (42.32% del total), a semejanza de en otros estudios (Rodríguez y Silva y otros 2013b). Aunque la zona de estudio no se encuentra dentro de ningún espacio natural protegido, dispone de una gran presión humana debido a la actividad cinegética y a su situación estratégica junto a la capital de la provincia.

Dadas las restricciones presupuestarias actuales, el empleo de imágenes de satélite resulta fundamental para la evaluación de áreas quemadas (Chuvieco y otros 2005). En grandes incendios forestales, la identificación de niveles de severidad mediante teledetección (Key y Benson 2006, Miller y Thode, 2007, Soverel y otros 2010) constituye una herramienta de apoyo para la priorización de actuaciones de restauración. Además, las imágenes de satélite permiten un monitoreo espacio-temporal de la recuperación de los recursos naturales, a coste prácticamente cero. A pesar de la gran utilidad de las imágenes de satélite, no se debe obviar que todo trabajo de teledetección requiere de un inventario de campo, principalmente para la identificación de los niveles de severidad (Key y Benson 2005).

La clasificación supervisada de los niveles de severidad mediante dNBR presentó mejores resultados que mediante RdNBR, rebatiendo el estudio de Miller y Thode (2007). Este hecho puede relacionarse con los pequeños valores del NBR pre-fuego dando lugar a valores excepcionalmente grandes de RdNBR. El análisis estadístico ha obtenido una mejor relación entre CBI y dNBR, y no entre CBI y RdNBR como era de esperar, debido al “boosting” fruto de los bajos valores de reflectancia pre-fuego. Mientras el coeficiente de determinación y el estadístico Kappa presentan valores semejantes, la precisión global del dNBR es superior a la de

otros estudios (Miller y Thode, 2007, Soverel y otros 2010). La bondad del ajuste se incrementa en terrenos arbolados futo de los valores de reflectancia pre-fuego.

La valoración económica del fuego en el incendio de Alhama de Almería revela un mayor impacto sobre recursos intangibles (servicios ambientales y bienes paisajísticos) que sobre recursos tangibles (madera, cinegético y pasto) (Cuadro 3). Esta apreciación coincide con lo observado en valoraciones realizadas para otros incendios (Rodríguez y Silva y otros 2013a). En este sentido, y tal y como recomiendan otros autores (Vélez 2009, Rodríguez y Silva y González-Cabán 2010), la valoración de daños y perjuicios no debe obviar la multifuncionalidad de los montes mediterráneos y reducirla únicamente a las pérdidas sobre el recurso maderero o los recursos tangibles.

La incorporación de imágenes satélite en la evaluación económica de daños y perjuicios provocados por incendios forestales, de forma combinada con la intensidad energética emitida por las llamas, proporciona una herramienta de gran utilidad para las administraciones con responsabilidades en gestión del territorio forestal (Rodríguez y Silva y otros 2013a). La disponibilidad de información georreferenciada sobre el valor económico por hectárea resultado de la afectación por incendio forestal, tanto a nivel de recurso individual como a nivel de la vulnerabilidad integral del ecosistema, resulta de gran interés para la toma de decisiones y la asignación presupuestaria (Molina y otros 2009). La mayor ventaja de las herramientas y productos basados en teledetección y sistemas de información geográfica (cartografía temática) es la sencillez de incorporación de necesidades o novedades, convirtiendo a la información digital en una herramienta de trabajo indispensable en los programas de defensa contra incendios forestales (Chuvienco y otros 2010). Además, no se debe obviar que el procedimiento metodológico sustentado bajo este trabajo se basa en imágenes gratuitas y disponibles cada 16 días (imágenes Landsat 8). Por tanto, y a pesar de que se haya seleccionado un único incendio para el establecimiento del procedimiento metodológico, la metodología puede ser extrapolada a cualquier incendio y a cualquier escala de trabajo, siempre bajo las consideraciones previas del conocimiento de los recursos afectados y, los ajustes en base a los inventarios de campo, necesarios e imprescindibles para todos los trabajos con imágenes de satélite.

## **Conclusiones**

La valoración de los recursos naturales, de acuerdo a los nuevos paradigmas de la sociedad, exige la incorporación de las externalidades del medio forestal (servicios ambientales y bienes paisajísticos), dado que en muchas ocasiones pueden suponer una gran proporción de su valor total. La integración de herramientas económicas e

imágenes de satélite disminuye la necesidad de recursos humanos y económicos, y facilita el monitoreo espacio-temporal de un área quemada. Además, el empleo de los índices de vegetación permite la incorporación del cambio neto en el valor de los recursos, señalando un mejor ajuste a la realidad y optimizando la asignación presupuestaria. El índice dNBR aporta una clasificación de la severidad más fidedigna que el RdNBR para el área de estudio, debido al efecto "boosting" originado por los valores NBR pre-fuego, fruto de la escasa vegetación, baja precipitación y gran insolación.

## Agradecimientos

Los autores han realizado el trabajo, gracias a la financiación de un proyecto público del Ministerio de Ciencia e Innovación, denominado Proyecto GEPRIF (RTA2014-00011-C06-01).

## Referencias

- Chuvieco, E., Ventura M., Martín, P. Gómez, I.** 2005. Assesment of multitemporal compositing techniques of MODIS and AVHRR images for Burneo land mapping. *Remote Sensing of Environment* 94, 450-462.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, P., Villar L., Martínez J., Martín S., Ibarra P., De La Riva J., Baeza J., Rodríguez y Silva, F., Molina, J.R., Herrera, M.A., Zamora, R.** 2010. Development a framework for risk assessment using remote sensing and geographic information system. *Ecological Modeling* 221, 46-58.
- Constanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, G.R., Sutton, P., Van Der Belt, M.** 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.
- Key, C.H., Benson, N.C.** 2005. Landscape assessment: ground measure of severity, the Composite Burn Index. In D. C. Lutes (Ed.), *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. General Technical Report, RMRS-GTR- 164-CD: LA1-LA51.* (pp.) Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Key, C.H., Benson, N.C.** 2006. Landscape assessment: Ground measure of severity the Composite burn index, and remote sensing of severity, the Normalized Burn Index. In: Lutes, C.D., Keane, R.E., Caratti, J.F., Key, C.H., Benson, N.C., Sutherland, S., Gangi, L.J. (Eds.). *FIREMON: Fire Effects monitoring and inventory system.* USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. General Technical Report RMRS-GTR-164-CD: LA1 – 51 (Ogden, UT).
- Miller, J.D., Thode, A.E.** 2007. Quantifying burn severity in an heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment* 109, 66 – 80.
- Molina, J.R., Rodríguez y Silva, F., Herrera M.A., Zamora R.** 2009. A Simulation Tool for Socio-Economic Planning on Forest Fire Suppression Management. In: Columbus, F. (Ed.). *Forest Fires: Detection, Suppression, and Prevention.* Nova Science Publishers; 33-88.

- Molina, J.R., Herrera, M.A., Zamora, R., Rodríguez y Silva, F., González-Cabán, A.** 2011. Economic losses to Iberian swine production from forest fires. *Forest Policy Econ* 13, 614-621.
- Rodríguez y Silva, F., González-Cabán, A.** 2010. "SINAMI": a tool for the economic evaluation of forest FIRE management programs in Mediterranean ecosystems. *International Journal of Wildland Fire* 19, 927-936.
- Rodríguez y Silva, F., Molina, J.R., González-Cabán, A., Herrera, M.A.** 2012. Economic vulnerability of timber resources to forest fires. *Journal of Environmental Management* 100, 16-21.
- Rodríguez y Silva, F., Molina, J.R., Castillo, M.** 2013a. Aproximación Metodológica Para la Evaluación del Impacto Económico de los Incendios Forestales, Mediante el Uso de Teledetección Espacial, Aplicación Mediante el Uso de Imágenes Modis. General Technical Report PSW-GTR 245, 305-319.
- Rodríguez y Silva, F., Molina, J.R., Herrera, M.A., Leal, J.** 2013b. Visual SEVEIF a tool for integrating fire behavior simulation and economic evaluation of the impact of wildfires. General Technical Report PSW-GTR 245, 163-178.
- Ruiz, L.** 2015. Evaluación del impacto económico del incendio de Alhama de Almería, mediante el uso de teledetección. Trabajo Final del Máster de Incendios Forestales: Ciencia y Gestión Integral. Córdoba, España, 53 pp.
- Soverel, N.O., Perrakis, D.B., Coops, N.C.** 2010. Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR index across western Canada. *Remote Sensing of Environment* 114, 1896 – 1909.
- Vélez, R.** (Coord.), 2009. La Defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. McGraw-Hill, Madrid.
- Zamora, R., Molina-Martínez, J.R., Herrera, M.A., Rodríguez y Silva, F.** 2010. A model for wildfire prevention planning in game resources. *Ecological Modelling* 221, 19-26.

# Factores que Afectan a los Incendios Forestales en las Provincias Forestales de Serik y Taşagil (SW Anatolia, Turquía)<sup>1</sup>

Ufuk Coşgun<sup>2</sup>, Armando González-Cabán<sup>3</sup>

## Resumen

Este estudio se realizó para determinar los factores causantes de los incendios forestales en las provincias de Serik y Taşagil del Directorio Forestal Regional de Anatolia, Turquía. Las 78 aldeas forestales en las provincias forestales vecinas fueron escenario del incendio forestal más grande (15,000 hectáreas) en la historia de Turquía. El área se caracteriza por tener una alta frecuencia de incendios forestales.

Para el estudio usamos 21 características forestales relacionadas, 22 factores socioeconómicos, el número de incendios forestales y dos índices diferentes derivados de factores climáticos para el periodo 1998-2010. Auscultando diferentes bases de datos a nivel local, regional y nacional conseguimos la información sobre los factores socioeconómicos. Seleccionamos 45 factores de las 78 aldeas forestales y las usamos en el análisis. Para determinar los grupos de factores más importantes afectando la ocurrencia de incendios en la región usamos múltiples técnicas de análisis numérico como análisis de factores, análisis de agrupamiento y análisis de regresión múltiple. Aplicamos análisis separados para las provincias forestales de Taşagil y Serik.

Los resultados muestran que para la provincia forestal de Taşagil cuatro grupos, incluyendo 11 variables, tienen el mayor poder explicativo, y explican el 85% de la varianza total. De igual forma, para la provincia forestal de Serik cuatro grupos conteniendo 14 variables explican el 87% de la varianza total. Los grupos de factores para las provincias forestales de Taşagil y Serik se usaron para clasificarlos por la carga de incendios forestales lo que puede ser una herramienta útil para el manejo del fuego en la región.

Palabras claves: Factores socioeconómicos, factores sociales-peligro de incendios, funciones de correlación, manejo forestal.

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Associate Professor, Forest Faculty, Karabuk University, Karabuk, Turkey.

<sup>3</sup> Research Economist, Urban Ecosystem and System Dynamics Program, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, 4955 Canyon Crest Dr., Riverside, CA 92057 USA

## **Introducción**

Los bosques de Turquía forman parte de los Bosques Mediterráneos, y los bosques Turcos en las Regiones Mediterráneas y Egeas tienen muchas similitudes ecológicas con los bosques mediterráneos. Sin embargo, la estructura física y su posición geográfica son bien diferentes a otros países que tienen un cinturón de bosque mediterráneo. Esta diferencia se manifiesta en su diversidad biológica. Además, la estructura socioeconómica de Turquía difiere de la de los otros países mediterráneos. El Ministerio de Asuntos Forestales y del Agua administra los bosques en Turquía. La unidad más grande de manejo es el Directorado General Forestal (DGF) cuya misión es el manejo, protección y desarrollo de las 21.3 millones de hectáreas forestales en Turquía. A nivel nacional el DGF trabaja con 27 “Directorados Generales Forestales” equivalentes regionales. Durante el periodo de 1937 a 2010 se contabilizaron en Turquía 86,769 incendios forestales que afectaron más de 1.6 millones de hectáreas.

En las regiones Mediterráneas y Egeas hay un total de 10 “Directorados Generales Forestales”. De toda el área afectada por incendios forestales entre 2000 a 2009, el 81% ocurrió en los 10 Directorados Generales Forestales en las primeras 10 áreas. Cuando estas áreas se clasifican por el área de incendio afectada, la mayor parte de ellas están en el Directorado General Forestal de Antalya. Las primeras 10 áreas son responsables por 63.35% del total de incendios ocurridos en el periodo del 2000 al 2010. El Directorado General Forestal de Antalya es el segundo en número de incendios forestales.

El sistema de combate de incendios en Turquía trabaja principalmente en actividades pos-incendios. Como resultado la mayoría de los recursos de combate se usan en actividades de extinción pos-incendios. Los DGFs, que manejan efectivamente los incendios forestales, pueden desarrollar un plan de acción manteniendo sus equipos esperando en un lugar fijo en caso que surja algún incendio forestal (después de recibir notificación de la ocurrencia de un incendio) y tomar acción ((Sistema Pasivo de Defensa) (Akkas et al. 2008).

El enfoque de los DGFs hacia las medidas de prevención es el siguiente: “... En Turquía el 91% de los incendios forestales son de causa antropogénica. Por lo tanto, la base de todas las medidas preventivas es la educación social. Se debe realizar estudios necesarios para aumentar la sensibilización en las universidades, escuelas secundarias, escuelas primarias, aldeas, ciudades, aldeas de verano y lugares religiosos; y entre los trabajadores de los sectores de turismo y acampar (Doğan, 2009).

“... El hecho de que las causas de los incendios forestales en Turquía son antropogénicas demuestra la importancia de realizar estudios socioeconómicos sobre las comunidades. Por lo tanto, resulta más lógico en un país donde el 91% de los

incendios son de origen antropogénico, comenzar con urgencia a estudiar los factores sociales del peligro de incendios en base a variables socioeconómicas en vez de financiar esfuerzos para desarrollar un sistema de evaluación de riesgo asociado a variables naturales como sustancias inflamables y condiciones meteorológicas”. (Akkaş et al., 2008).

Varios estudios internacionales y nacionales sobre el tema se han realizado. En Portugal, en su estudio sobre la relación entre los incendios forestales y parámetros socioeconómicos y agroforestería, Almeida y Moura (1992), recogieron información sobre agroforestería y parámetros socioeconómicos relacionados a incendios forestales en 274 unidades rurales. Utilizando un análisis de componentes principales y calificación identificaron 8 grupos de asentamientos en el área. El estudio identificó información y parámetros efectivos en cada grupo como punto de partida para la prevención de incendios.

En el 1986, Almeida et al., identificó 3 grandes grupos (humano, ganado y ocupaciones agrícolas) que creían asociadas con los incendios forestales. Las variables seleccionadas fueron reorganizadas para las áreas de asentamientos humanos con condiciones homogéneas de zonificación por que el área tenía una estructura socioeconómica muy heterogénea. Se desarrolló una matriz de datos basada en las 274 unidades y las 27 variables. La base de datos se analizó para identificar si había inter relaciones.

Kallidromitou1 et al. (1999), definió factores socioeconómicos y tipos y número de incendios forestales en su estudio sobre “manejo incendios forestal y sistema de protección de incendio”. La causa principal de los incendios forestales en muchas regiones Mediterráneas son los factores socioeconómicos; estos son los elementos básicos de la clasificación de causas. Para caracterizar la predicción del número de incendios en una unidad de área, y los factores causándolos se necesita la aplicación del Modelo de Riesgo Socioeconómico (SER en inglés). Considerando los factores de riesgo se formularon las clases de análisis apropiadas. Se usaron dos métodos diferentes. Para el modelo socioeconómico se identificó cinco factores específicos analizando información de 4 áreas forestales y medidas cualitativas. El modelo SER usa 156 variables de riesgo. Las áreas de estudio se clasificaron de acuerdo a 10 características principales (Forestal, Ganado, Agricultura, Uso de la Tierra, Estructura Demográfica, etc.) y 48 subgrupos.

En nuestro estudio, los factores socioeconómicos afectando los incendios forestales se determinaron mediante un análisis de factores de 45 variables socioeconómicas. Basado en las mismas 45 variables se realizó el agrupamiento de las aldeas a nivel provincial y regional mediante el análisis de clúster. La clasificación de los incendios forestales para el periodo del 1998 al 2010 se hizo de acuerdo a su número; y las funciones de relación entre los factores socioeconómicos y los

incendios forestales se desarrollaron mediante análisis de regresión múltiple, incluyendo el método de regresión gradual.

En las áreas de trabajo de los DMF de Taşağıl y Serik se clasificaron las aldeas en base a la distribución de incendios forestales entre 1979 y 2010. Los grupos de factores están compuestos por variables socioeconómicas efectivas en explicar la ocurrencia de incendios forestales. Las aldeas forestales fueron también clasificadas de acuerdo a los grupos de factores. Las aldeas forestales con el mayor número de incendios forestales se comportaban igual que la clasificación de las causas socioeconómicas de los incendios forestales. Por tal razón llamamos estos factores “**factores sociales de riesgo de incendios**”.

La “**función de correlación de razones socioeconómicas-incendio**” se determinó entre los incendios forestales de las aldeas forestales en las áreas de trabajo de los DMF de Taşağıl y Serik y las razones socioeconómicas. En este estudio observamos que en las aldeas con el mayor número de incendios para el periodo de 1979 al 2010 se comportan igual que las aldeas clasificadas en la primera posición de acuerdo a las variables usadas en la presente función.

## Metodos y Materiales

La información para este estudio son datos estadísticos sobre los incendios forestales ocurridos en el DGF de Antalya, Turquía. La información socioeconómica provino del Instituto de Estadísticas de Turquía (TUIK) y de fuentes del Distrito Gubernamental de Serik como el Directorado del Distrito Agrícola, y el Directorado de Manejo Forestal; y del Distrito Gubernamental de Manavgat, donde el pueblo de Taşağıl está, el Directorado del Distrito Agrícola de Manavgat, Directorado del Manejo Forestal de Taşağıl y registros de Directorado Forestal Regional de Antalya.

Tabla 1—Número de aldeas forestales y Directorado de empresas forestales muestradas

| Pueblos/Empresas Forestales | Número de aldeas |
|-----------------------------|------------------|
| Manavgat/Taşağıl            | 26               |
| Serik                       | 52               |
| Tolam                       | 78               |

Se estudiaron como posibles variables el número de incendios forestales en aldeas asociadas al Directorado de Manejo Forestal de Serik and Taşağıl y algunas

características socioeconómicas de la gente viviendo en estas aldeas. En la Tabla 1 se presenta la distribución de aldeas examinadas en el Directorado de Manejo Forestal de Serik and Taşağıl. Se evaluaron las variables socioeconómicas de las 78 aldeas obtenidas del Directorado de Manejo Forestal de ambos pueblos y la distribución de incendios forestales ocurrida en estas aldeas entre el 1998 y el 2010. Utilizamos un método de escaneo de fuente para recoger la información de instituciones y organizaciones asociadas. También se evaluaron artículos sobre factores socioeconómicos. Los factores socioeconómicos contribuyendo a los incendios forestales en Serik y Taşağıl en los DMF incluyen 45 variables clasificadas de acuerdo al objetivo del asunto principal (Tabla 2).

**Tabla 2—Distribución General de las Variables Socioeconómicas**

| <b>Variables</b>                           | <b>Número</b> |
|--|---------------|
| Area Forestal                              | 21            |
| Población y Nivel de Educación             | 7             |
| Agricultura y Ganaderia                    | 6             |
| Estatus de Empleo                          | 3             |
| Çalışan Nüfusun Is Kollarına Dağılımı      | 5             |
| Número de Incendios Forestales (1998-2010) | 1             |
| Indice de Incendios Forestales             | 2             |
| Total                                      | 45            |

Los datos se evaluaron en dos etapas. En la primera etapa los datos del DFG de Antalya y los DMF de Serik y Taşağıl se evaluaron con medidas estadísticas básicas como totales, promedios y porcentos. En la segunda etapa usamos múltiples métodos de análisis numérico para evaluar los datos socioeconómicos de ambos DMF.

Usando análisis de factores, análisis de clúster y análisis de regresión múltiple se examinó la relación entre el número de incendios forestales ocurridos en las aldeas forestales y la estructura de la población de las aldeas (Anonym 2012). Nos dimos cuenta que en el análisis de factores para el primer grupo muchas variables entraron en el mismo grupo de factores. Con la intención de identificar las variables más efectivas, en el primer grupo tomamos en consideración aquellas variables con un factor de ponderación de 0.8 o más.

Luego usando el método de varianza mínima de agrupamiento (WARD en inglés) (Murtagh and Legendre 2011) examinamos el agrupamiento de los asentamientos. Esto reveló como los asentamientos se agrupan de acuerdo a las variables socioeconómicas seleccionadas. El agrupamiento de las aldeas fue monitoreado a nivel distrital y regional usando el análisis de clúster de acuerdo a las

45 variables socioeconómicas. Usamos el análisis de regresión múltiple para examinar la relación entre las 45 variables socioeconómicas por distrito y el número de incendios ocurridos en el periodo de 1998 al 2008. Las relaciones funcionales entre las variables socioeconómicas seleccionadas y los incendios forestales fueron identificadas mediante análisis de regresión múltiple y de regresión gradual.

## **Discusión and Resultados**

### **Incendios Forestales en el Directorado Regional de Incendios Forestales de Antalya**

Más de 6,000 incendios forestales ocurridos en el Directorado Regional de Incendios Forestales (DRIF) de Antalya entre 1979 al 2011, afectaron 56,243 hectáreas (Anonym a, 2011), (Table 3). De ese total, un poco más del 57% ocurrieron en los Directorado de Manejo Forestal (DMF) de Serik y Taşşagıl. Para este periodo la cantidad de área más afectada (35%) fue en el DMF de Taşşagıl, seguido del DMF de Serik (22%) (Anonym a, 2011). Cuando los DMF son clasificados de acuerdo al número de incendios el de Serik es el segundo y el de Taşşagıl es el quinto (Tabla 3).

El asentamiento de Etlér en el DMF de Serik reportó el mayor número de incendios (12%), seguido por Yumaklar (11), y las aldeas de Akbaş y Alacami (7%) (Tabla 4) (Coşgun et al. 2010). En el DMF de Taşşagıl el asentamiento con mayor número de incendios fue la aldea de Sağirin (13%), seguida por las aldeas de Çardak (11%), Bozyaka, Karabük (9%), y Altinkaya (8%) (Table 5) (Coşgun et al. 2010).

**Tabla 3—Área de incendios forestal en las Empresas Forestales del 1979 al 2011**

| <b>Empresas Forestales</b> | <b>Número de incendios</b> | <b>Área Total</b> |
|----------------------------|----------------------------|-------------------|
| Akseki                     | 363                        | 727.29            |
| Alanya                     | 692                        | 3098.65           |
| Antalya                    | 1255                       | 5869.57           |
| Elmalı                     | 35                         | 153.49            |
| Finike                     | 162                        | 1042.45           |
| Gazipaşa                   | 385                        | 1345.20           |
| Gündoğmuş                  | 346                        | 1976.91           |
| Kaş                        | 578                        | 2971.79           |
| Korkuteli                  | 78                         | 117.78            |
| Kumluca                    | 372                        | 3176.10           |
| Manavgat                   | 721                        | 3688.31           |
| Serik                      | 908                        | 12460.96          |
| Taşşğıl                    | 591                        | 19619.71          |
| Total                      | 6486                       | 56248.21          |

**Tabla 4—Distribución de los incendios forestales ocurridos en el Área de Distribution Alojamiento de las Empresas Forestales en el Directorado de Tierras de Serik (1998–2008)**

| <b>Nombre de Aldea</b> | <b>1</b>   | <b>5</b>  | <b>20</b> | <b>50</b> | <b>200</b> | <b>500</b> | <b>500+</b> | <b>Total</b> |
|------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|--------------|
| Akbas                  | 14         | 4         | 1         | 2         | 2          | 1          | 1           | 5            |
| Akcapınar              | 1          |           |           |           |            |            |             | 1            |
| Alacamı                | 22         | 1         |           |           | 1          |            |             | 24           |
| Asagioba               | 2          | 2         |           |           |            |            |             | 4            |
| Belek                  | 9          | 3         |           |           |            |            |             | 12           |
| Bilginler              | 11         |           | 1         |           |            |            |             | 12           |
| Bozdogan               | 9          | 3         |           |           |            |            |             | 12           |
| Bucak                  |            | 4         |           |           |            |            |             | 4            |
| Bugus                  | 5          | 1         |           | 1         |            | 1          |             | 8            |
| Catallar               | 6          | 1         |           |           |            |            |             | 7            |
| Demirciler             | 4          | 2         |           |           |            |            |             | 6            |
| Deniztepesı            | 5          | 2         |           |           |            |            |             | 7            |
| Etlar                  | 38         | 5         |           |           |            |            |             | 43           |
| Gebız                  | 15         | 3         | 1         | 1         |            |            |             | 20           |
| Gokcepınar             | 19         |           | 1         |           |            |            |             | 20           |
| Haciosmanlar           | 1          |           |           |           |            |            |             | 1            |
| Hasdumen               | 7          | 3         |           |           |            |            |             | 10           |
| Hasgebe                | 8          | 1         | 1         |           |            |            |             | 10           |
| Haskızılören           | 3          |           |           |           |            |            |             | 3            |
| Kadriye                | 7          | 1         |           |           |            |            |             | 8            |
| Kayadıbı               | 3          |           |           |           |            |            |             | 3            |
| Kırbas                 | 13         | 3         |           |           |            |            |             | 16           |
| Kozan                  | 14         | 4         |           |           |            |            |             | 18           |
| Kumkoy                 | 16         | 1         | 1         | 1         |            |            |             | 19           |
| Sarıabalı              | 7          | 4         |           |           |            |            |             | 11           |
| Serik                  | 1          |           |           |           |            |            |             | 1            |
| Tekke                  | 1          |           |           |           |            |            |             | 1            |
| Tonguclu               | 11         |           |           |           |            |            |             | 11           |
| Yesilvadı              | 3          |           |           |           |            |            |             | 3            |
| Yesilyurt              | 3          |           | 1         |           |            |            |             | 4            |
| Yumaklar               | 37         | 4         | 1         |           |            |            |             | 42           |
| Zırlankaya             | 1          |           |           |           |            |            |             | 1            |
| <b>Total</b>           | <b>296</b> | <b>52</b> | <b>8</b>  | <b>5</b>  | <b>3</b>   | <b>2</b>   | <b>1</b>    | <b>367</b>   |

**Tabla 5— Distribución de los incendios forestales ocurridos en el Área de Distribution Alojamiento de las Empresas Forestales en el Directorado de Tierras de Taşagıl (1998–2008)**

| Nombre de Aldea | 1   | 5  | 20 | 50 | 200 | 500 | 500+ | Total |
|-----------------|-----|----|----|----|-----|-----|------|-------|
| Altinkaya       | 13  | 3  | 1  |    |     |     |      | 17    |
| Ballibucak      | 7   | 2  |    |    |     |     |      | 9     |
| Bereket         |     | 1  | 1  |    |     |     |      | 2     |
| Beydigin        | 7   | 5  | 1  |    |     |     |      | 13    |
| Bozyaka         | 11  | 6  |    |    |     |     | 1    | 18    |
| Burmahan        | 6   |    |    |    |     |     | 1    | 7     |
| Cakıs           | 1   |    |    |    |     |     |      | 1     |
| Cardak          | 17  | 5  | 2  |    |     |     |      | 24    |
| Cavuskoy        | 1   |    |    |    |     |     |      | 1     |
| Degirmenozu     |     | 2  |    |    |     |     |      | 2     |
| Demirciler      | 1   | 1  |    |    |     |     |      | 2     |
| Denizkent       | 1   | 1  |    |    |     |     |      | 2     |
| Duzagac         | 3   | 2  |    |    |     |     |      | 5     |
| Gaziler         | 1   | 1  |    |    |     |     |      | 2     |
| Gundogdu        | 5   | 1  |    |    |     |     |      | 6     |
| Hocalar         | 5   | 1  | 1  |    |     |     |      | 7     |
| Karabucak       | 1   | 4  |    |    |     |     |      | 5     |
| Karabuk         | 15  | 3  |    |    |     |     |      | 18    |
| Kırkavak        | 3   | 2  |    |    |     |     |      | 5     |
| Kısalar         | 1   |    |    |    |     |     |      | 1     |
| Kızıldag        | 4   | 5  | 1  |    |     |     |      | 10    |
| Sagırın         | 18  | 7  | 1  |    |     |     | 1    | 27    |
| Salur           | 1   |    |    |    |     |     |      | 1     |
| Tasagıl         | 8   | 2  | 1  | 1  |     |     |      | 12    |
| Yavrudogan      | 7   | 2  |    |    |     |     |      | 9     |
| Yesilbag        | 1   |    | 1  |    |     |     | 1    | 3     |
| Yesilvadi       | 1   |    |    |    |     |     |      | 1     |
| Total           | 139 | 56 | 10 | 1  |     | 1   | 3    | 210   |

### Factores Socioeconómicos Relacionados con los Incendios en los Directorados de Manejo Forestal Socioeconomic

Usando el método de análisis de factores determinamos la relación entre el número de incendios y los factores socioeconómicos en el DMF de Taşagıl (Tablas 6, 7 y 8).

Se usó el test KMO (Kaiser 1974, Cemi and Kaiser 1977) (Tabla 6) para determinar cuan robustas eran las variables usadas en el análisis de factores. La matriz de variables demostró 4 factores con un alto poder explicativo de 84.7% (Tabla 7).

**Tabla 6—Test de KMO y Bartlett de Análisis de Facotes para el Directorado de Manejo Forestal de Taşagül**

| <b>Test KMO y Bartlett</b>                             |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| Medida de Adecuación de la muestra Kaiser-Meyer-Olkin. |                    | 0.565   |
| Test de Esfericidad de Bartlett                        | Chi-Square Approx. | 206.414 |
|  | df                 | 55      |
|  | Sig.               | 0.000   |

**Tabla 7—Varianza Total Explicada por el análisis de Factores para el Directorado de Manejo Forestal de Taşagül**

| <b>Componente</b> | <b>Valores Eigen iniciales</b> |                   |                     | <b>Cargas de Extracción de la Suma de los Cuadrados</b> |                   |                     | <b>Carga de la Rotación de la Suma de los Cuadrados</b> |                   |                     |
|-------------------|--------------------------------|-------------------|---------------------|---|-------------------|---------------------|---|-------------------|---------------------|
|                   | <b>Total</b>                   | <b>% Varianza</b> | <b>Cumulativo %</b> | <b>Total</b>  | <b>% Varianza</b> | <b>Cumulativo %</b> | <b>Total</b>  | <b>% Varianza</b> | <b>Cumulativo %</b> |
|                   | 1                              | 3,735             | 33.95               | 33.95   | 3,735             | 33.95               | 33.95   | 3,166             | 28.78               |
| 2                 | 2,400                          | 21.82             | 55.77               | 2,400   | 21.82             | 55.77               | 2,306   | 20.97             | 49.748              |
| 3                 | 1,877                          | 17.07             | 72.84               | 1,877   | 17.07             | 72.84               | 2,033   | 18.48             | 68.228              |
| 4                 | 1,306                          | 11.87             | 84.71               | 1,306   | 11.87             | 84.71               | 1,814   | 16.49             | 84.71               |

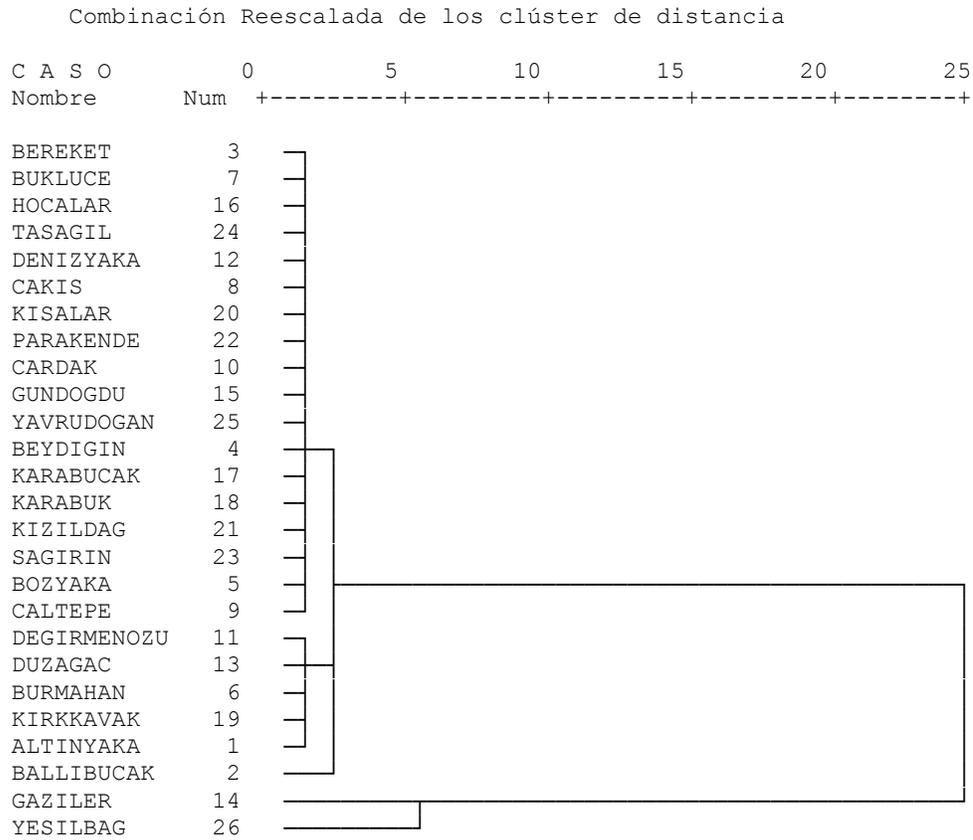
**Tabla 8—Matriz de Componentes Rotada del Análisis de Factores para el Directorado de Manejo Forestal de Taşagil**

| <b>Matriz de Componentes Rotada</b> |                   |          |          |          |
|-------------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| <b>Variables</b>                    | <b>Componente</b> |          |          |          |
|                                     | <b>1</b>          | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |
| KPL3                                | 0.887             |          |          |          |
| BNT3                                | 0.867             |          |          |          |
| GLSMCGC                             | 0.928             |          |          |          |
| M4                                  | 0.844             |          |          |          |
| ILKMZN                              |                   | -0.856   |          |          |
| INSTSNY                             |                   | 0.902    |          |          |
| HBNUF                               |                   | 0.764    |          |          |
| KPL1                                |                   |          | 0.949    |          |
| GLSMCGA                             |                   |          | 0.971    |          |
| M3                                  |                   |          |          | 0.888    |
| HBKBHS                              |                   |          |          | 0.905    |

El análisis demostró que hay diferentes variables en los cuatro factores (Tabla 8). Entre las variables explicando la relación entre los factores socioeconómicos y los incendios forestales están la proximidad al bosque, lugar (lugar de crecimiento, fortaleza de clase de productividad), estructura de edad del rodal, y clase de peligro de incendios. A este factor lo podemos llamar “calificador de áreas forestales de Calidad-Alto-Valor”. El segundo factor incluye variables como graduados de escuela-primaria, población trabajando en el sector de construcción, y personal por hogar. A este factor lo podemos llamar el “factor educación y empleo”. El tercer factor, llamado calificador de áreas forestales valor-bajo” e incluye las variables estructura de edad y densidad (cerrado) del bosque. El cuarto factor, llamado “agricultura de cabras y ovejas con áreas forestales de bajo-riesgo” incluye las variables peligro de incendios forestales y la presencia de ganadería menor por hogar (cabras y ovejas). En esta clasificación las aldeas se dividen en dos clases (Figura 1). En el segundo grupo hay dos aldeas que tienen el menor número de incendios forestales. En el primer grupo están las aldeas de Beydiğın, Karabucak, Karabük, Sağirin y Bozyaka; las cuales están en el rango más alto en el número de incendios

\* \* \* H I E R A R C H I C A L  
C L U S T E R A N A L Y S I S \* \* \* \* \* \* \*

Dendograma usando el Método de Ward



**Figura 1**—Clasificación de Aldeas forestales de Acuerdo a los Factores Socioeconómicos para el Directorado de Manejo Forestal de Taşagil

En el Segundo subgrupo las aldeas de Burmahan, Kırkkavak, y Ballıbucak (excepto la aldea de Altınkaya) tienen una clasificación mediana en base al número de incendios. Los resultados, usando un análisis de regresión múltiple, entre los factores socioeconómicos y los incendios forestales para el DMF de Taşagil son consistentes; y la relación entre variables tiene un alto grado de  $R^2$  (Tabla 9). El análisis de varianza entre los factores socioeconómicos e incendios forestales demostró la significancia estadística de los coeficientes y las variables explicando la ecuación (Tabla 10).

**Tabla 9—Resumen del Modelo de Regresión de la Relación entre los Incendios Forestales y los Factores Socioeconómicos del Directorado de Manejo Forestal de Taşagıl**

| Resumen del Modelo |                |                         |             | Estadísticas de Cambio   |             |     |     |                  |               |
|--------------------|----------------|-------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-----|-----|------------------|---------------|
| R                  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Ajustada | Error Estd. | Cambio en R <sup>2</sup> | Cambio en F | df1 | df2 | Sig. cambio en F | Durbin-Watson |
| 0.878 <sup>d</sup> | 0.772          | 0.728                   | 4.753       | 0.154                    | 14.202      | 1   | 21  | 0.001            | 1.679         |

**Tabla 10—Análisis de Regresión Anova de la Relación entre los Incendios Forestales y los Factores Socioeconómicos del Directorado de Manejo Forestal de Taşagıl**

| ANOVA     |                   |    |                   |       |       |
|-----------|-------------------|----|-------------------|-------|-------|
| Modelo    | Suma de Cuadrados | df | Promedio cuadrado | F     | Sig.  |
| Regresión | 1604.01           | 4  | 401.00            | 17.75 | 0.000 |
| Residual  | 474.50            | 21 | 22.60             |       |       |
| Total     | 2078.50           | 25 |                   |       |       |

La ecuación que describe la relación entre los incendios forestales y los factores socioeconómicos del Directorado de Manejo Forestal de Taşagıl para los años del 1979 al 2011 es:

$$Y = -63.019 + 0.274 KPL1 - 0.211 HBTARALN + 3.143 SIINDSK + 0.642 GLSMSGD \text{ (Table 11).}$$

**Tabla 11— Coeficientes del Análisis de Regresión Anova de la Relación entre los Incendios Forestales y los Factores Socioeconómicos del Directorado de Manejo Forestal de Taşagıl**

| Modelo   | Coeficientes      |             |                |  | T      | Sig.  |
|----------|-------------------|-------------|----------------|--|--------|-------|
|          | No Estándarizados |             | Estandarizados |  |        |       |
|          | Beta              | Error Estd. | Beta           |  |        |       |
| Constant | -63.019           | 15.769      |                |  | -3.996 | 0.001 |
| KPL1     | 0.274             | 0.070       | 0.42           |  | 3.886  | 0.001 |
| HBTARALN | -0.211            | 0.052       | -0.499         |  | -4.094 | 0.001 |
| SIINDKS  | 3.143             | 0.703       | 0.626          |  | 4.471  | 0.000 |
| GLSMCGD  | 0.642             | 0.170       | 0.513          |  | 3.769  | 0.001 |

## Relación entre los Incendios Forestales y los Factores Socioeconómicos del Directorado de Manejo Forestal de Serik

Se usó el Análisis de Factores para determinar la relación entre los Incendios Forestales y los factores socioeconómicos del Directorado de Manejo Forestal de Serik (Tablas 12, 13, y 14). Usamos el test KMO para comprobar la robustez de las variables usadas en el Análisis de Factores (Tabla 12).

**Tabla 12—Test KMO y Bartlett del Análisis de Factores para el Directorado de Manejo Forestal de Serik**

|   |                   |  |         |
|---|-------------------|--|---------|
| Medida de Adecuación de la Muestra Kaiser-Meyer-Olkin |                   |  | 0.670   |
| Test de Esfericidad Bartlett's                        | Chi-Square Aprox. |  | 757.329 |
|   | Df                |  | 91      |
|   | Sig.              |  | 0.000   |

Cuatro factores de la matriz de variables obtenida tienen un alto poder explicativo (86.7%) (Tabla 13).

**Tabla 13—Varianza Total Explicada en el Análisis de Factores para el Directorado de Manejo Forestal de Serik**

| Componente | Varianza Total Explicada |            |              |  |            |              |   |            |              |
|------------|--------------------------|------------|--------------|--|------------|--------------|---|------------|--------------|
|            | Valores Eigen iniciales  |            |              | Cargas de Extracción de la Suma de los Cuadrados |            |              | Carga de Rotación de la Suma de los Cuadrados |            |              |
|            | Total                    | % Varianza | Cumulativo % | Total  | % Varianza | Cumulativo % | Total   | % Varianza | Cumulativo % |
| 1          | 4,748                    | 33.916     | 33.916       | 4,748  | 33.916     | 33.916       | 4,471   | 31.932     | 31.932       |
| 2          | 3,360                    | 24.002     | 57.919       | 3,360  | 24.002     | 57.919       | 2,963   | 21.166     | 53.098       |
| 3          | 2,494                    | 17.813     | 75.732       | 2,494  | 17.813     | 75.732       | 2,837   | 20.268     | 73.366       |
| 4          | 1,530                    | 10.926     | 86.658       | 1,530  | 10.926     | 86.658       | 1,861   | 13.292     | 86.658       |

En los cuatro factores hay diferentes variables (Tabla 14). En el primer factor entre las variables socioeconómicas y los incendios forestales están las variables del estado de empleo de acuerdo a la población y el sector. A este factor lo llamamos el factor “sectores de empleo y población”. El segundo factor, llamado “bosques de coníferas mixtas y dañados de baja-calidad” incluye variables de áreas con sitios dañados, bosques de coníferas mixtas, y áreas de bajo riesgo de incendios forestales.

El tercer factor llamado “áreas forestales calificadas jóvenes y población con baja escolaridad” incluye las variables densidad (cierre) del rodal y periodo de

desarrollo del rodal, bosques con riesgo de incendios forestales mediano, y población. El cuarto factor llamado “bosques dañados de alto riesgo” incluye las variables bosques de alto riesgo de incendios forestales y áreas con bosques dañados.

**Tabla 14— Matriz de Componentes Rotada del Análisis de Factores para el Directorado de Manejo Forestal de Serik**

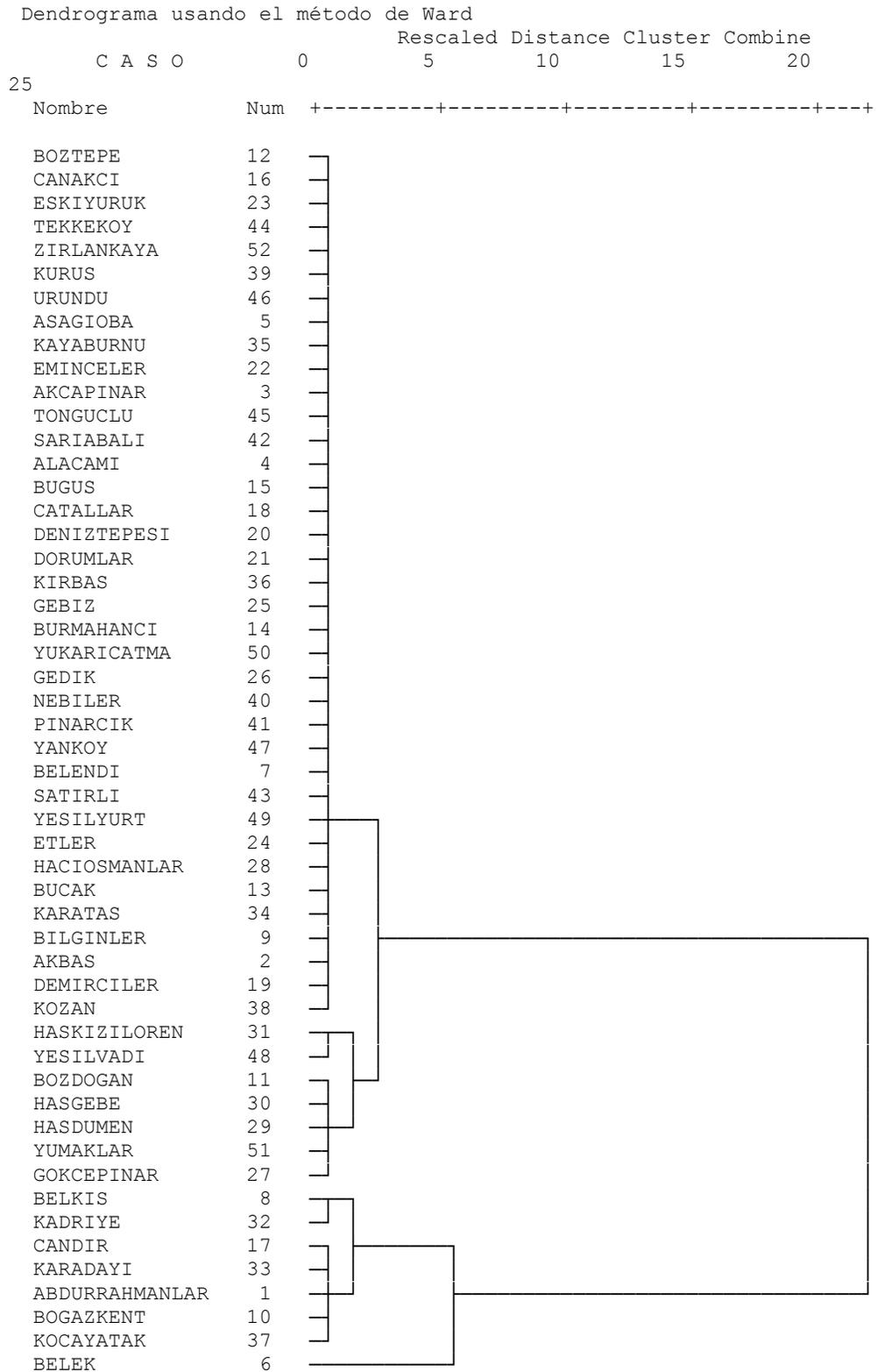
| <b>Matriz de Componentes Rotados</b> |                    |          |          |          |
|--------------------------------------|--------------------|----------|----------|----------|
| <b>Variab</b>                        | <b>Componentes</b> |          |          |          |
|                                      | <b>1</b>           | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |
| HBACNP                               | 0.939              |          |          |          |
| HBNUF                                | 0.937              |          |          |          |
| TARORMISTHDM                         | -0.899             |          |          |          |
| INSTSNY                              | 0.869              |          |          |          |
| TICKNTOTEL                           | 0.898              |          |          |          |
| BNT4                                 |                    | 0.964    |          |          |
| M5                                   |                    | 0.960    |          |          |
| IBRKAR                               |                    | 0.886    |          |          |
| KPL3                                 |                    |          | 0.922    |          |
| GLSMCGB                              |                    |          | 0.850    |          |
| OKBLMYN                              |                    |          | 0.583    |          |
| M3                                   |                    |          | 0.907    |          |
| BZK                                  |                    |          |          | 0.932    |
| M1                                   |                    |          |          | 0.963    |

El análisis de las variables socioeconómicas y el número de incendios indicó dos clasificaciones (Figura 2). Las aldeas en la primera clase son grandes, e inclusive algunas se convirtieron en pueblos, incluyendo a Belkız, Kadriye, Çandır, Karadayı, Abdurrahmanlar, Boğazkent, Kocayatak, and Belek. La falta de datos no nos permitió determinar el número de incendios en las aldeas de esta clase. Solamente dos aldeas en este grupo tuvieron el menor número de incendios. La aldea de Belek está en el medio de la clasificación del número de incendios forestales. Excluyendo la aldea de Belek este grupo se convierte en pueblos y se categorizó como una subclase o subgrupo. Es igualmente interesante que no ocurrieran incendios forestales en la mayoría de estas aldeas. Por lo tanto, las variables son consistentes en términos de las variables socioeconómicas y número de incendios forestales para los años del 1979 al 2011.

Las aldeas en el segundo grupo son más complicadas (Figura 2). Los resultados demuestran que estas aldeas están divididas en otros dos subgrupos compuestos por aldeas con un número de incendios forestales medio y alto. La ecuación de la regression multiple entre las variables socioeconómicas y el número de incendios forestales para el DMF de Serik es consistente; y la relación entre las variables tiene un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.53% (Tabla 16). Un Análisis de Varianza entre las variables socioeconómicas y el número de incendios forestales indicó que

los coeficientes de las variables explicativas de la ecuación son estadísticamente significativas (Tabla 17).

\* \* \* \* \* H I E R A R C H I C A L C L U S T E R A N A L Y S I S \*  
 \* \* \*



**Figura 2**—Clasificación de Aldeas Forestales de Acuerdo a los Factores Socioeconómicos para el Directorado de Manejo Forestal de Serik.

**Tabla 16—Resumen del Modelo de Regresión de la Relación entre los Incendios Forestales y los Factores Socioeconómicos del Directorado de Manejo Forestal de Serik**

| <b>Resumen del Modelo</b> |                      |                                   |                        |                                    |                        |            |            |                                 |                           |
|---------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------|------------|------------|---------------------------------|---------------------------|
| <b>R</b>                  | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>R<sup>2</sup><br/>Ajustada</b> | <b>Error<br/>Estd.</b> | <b>Estadísticas de Cambio</b>      |                        |            |            | <b>Sig.<br/>cambio<br/>en F</b> | <b>Durbin-<br/>Watson</b> |
|                           |                      |                                   |                        | <b>Cambio<br/>en R<sup>2</sup></b> | <b>Cambio<br/>en F</b> | <b>df1</b> | <b>df2</b> |                                 |                           |
| 0.730 <sup>e</sup>        | 0.532                | 0.482                             | 7.218                  | 0.053                              | 5.234                  | 1          | 46         | 0.027                           | 1.77                      |

**Tabla 17—Análisis de Regresión Anova de la Relación entre los Incendios Forestales y los Factores Socioeconómicos del Directorado de Manejo Forestal de Serik**

| <b>ANOVA</b>  |                              |           |                              |          |             |
|---------------|------------------------------|-----------|------------------------------|----------|-------------|
| <b>Modelo</b> | <b>Suma de<br/>Cuadrados</b> | <b>df</b> | <b>Promedio<br/>Cuadrado</b> | <b>F</b> | <b>Sig.</b> |
| Regresión     | 2727.873                     | 5         | 545.575                      | 10.472   | 0.000       |
| Residual      | 2396.435                     | 46        | 52.096                       |          |             |
| Total         | 5124.308                     | 51        |                              |          |             |

**Tabla 18— Coeficientes del Análisis de Regresión Anova de la Relación entre los Incendios Forestales y los Factores Socioeconómicos del Directorado de Manejo Forestal de Serik**

| <b>Modelo</b> | <b>Coefficientes no<br/>Estándarizados</b> |                    | <b>Coefficientes<br/>Estándarizados</b> |          | <b>Sig.</b> |
|---------------|--|--------------------|---|----------|-------------|
|               | <b>B</b>                                   | <b>Error Estd.</b> | <b>Beta</b>                             | <b>t</b> |             |
|               | (Constante)                                | 89.889             | 21.670                                  |          |             |
| BNT3          | 0.368                                      | 0.147              | 0.283                                   | 2.511    | 0.016       |
| SIINDKS       | -3.723                                     | 0.915              | -0.527                                  | -4.07    | 0.000       |
| BNMINDKS      | -0.018                                     | 0.006              | -0.412                                  | -3.308   | 0.002       |
| GLSMCGA       | 0.207                                      | 0.083              | 0.269                                   | 2.505    | 0.016       |
| ISSIZ         | 1.560                                      | 0.682              | 0.236                                   | 2.288    | 0.027       |

La siguiente ecuación (Tabla 18) describe la relación entre los factores socioeconómicos y los incendios forestales en el DMF de Serik para los años del 1979 al 2011:

$$Y = 89.889 + 0.368 \text{ BNT3} - 3.723 \text{ SIINDKS} - 0.018 \text{ BNMIDKS} + 0.207 \text{ GLSMSGA} + 1.560 \text{ ISSIZ}$$

Se usó un análisis de regresión múltiple para evaluar la relación entre los factores socioeconómicos y los incendios forestales. Esta es una etapa importante. En este estudio se determinó la función “relación razones socioeconómicas-incendios” entre los incendios forestales y las variables socioeconómicas para las aldeas localizadas en el área de trabajo del DMF de Taşagıl.

Los resultados demuestran que el número de incendios es proporcional al área forestal cerrada, indirectamente proporcional con el área agrícola por hogar, en proporción directa con la variable índice de temperatura, y en proporción directa con los bosques compuestos por rodales de edad “D”.

Se observan hallazgos interesantes cuando clasificamos las aldeas en base a las variables proporcionales indirectas y cuando observamos las primeras 5 aldeas para cada una de las variables en el DMG de Taşagıl. Vemos que en el DMF de Taşagıl, la comparación demuestra que la mayoría de las aldeas tienen un alto número de incendios forestales (tabla 19).

**Tabla 19—Clasificación de las Aldeas Forestales de Acuerdo a la Función de la Relación entre los Factores socioeconómicos y los Incendios forestales en el Directorado de Manejo forestal de Taşagıl.**

| ALDEAS     | KPLI  | ALDEAS     | HBTARALN | ALDEAS   | SHNDKS | ALDEAS     | GLSMCGD |
|------------|-------|------------|----------|----------|--------|------------|---------|
| YAVRUDOGAN | 53.88 | BALLIBUCAK | 6.25     | BOZYAKA  | 24.70  | ALTINYAKA  | 33.58   |
| CARDAK     | 49.70 | KIRKKAVAK  | 8.55     | CARDAK   | 24.64  | KARABUK    | 15.59   |
| HOCALAR    | 36.52 | BOZYAKA    | 9.87     | BEYDIGIN | 24.61  | BALLIBUCAK | 12.91   |
| TASAGIL    | 32.37 | DUZAGAC    | 9.97     | KARABUK  | 24.61  | GAZILER    | 11.88   |
| ALTINYAKA  | 25.98 | BEYDIGIN   | 11.42    | TASAGIL  | 24.60  | CALTEPE    | 11.82   |

Se usó un análisis de regresión múltiple para evaluar la relación entre los factores socioeconómicos y los incendios forestales. La “función de relación entre las variables socioeconómicas y los incendios forestales” se estimó para las aldeas en el DMF de Serik. Los resultados demuestran que el número de incendios está en proporción directa a la tercera clase de sitios de áreas forestales, en proporción indirecta al índice de temperatura y a las variables del índice de humedad relativa; y en proporción directa de los rodales de bosques de edad “A” y niveles locales de empleo.

Al comparar la clasificación de la “función de las razones socioeconómicas-incendios” en el DMF de Serik con el número de incendios en las aldeas, se comprueba que las aldeas con el mayor número de incendios aparecen en la clasificación (Tabla 20).

**Tabla 20—Clasificación de las Aldeas Forestales de Acuerdo a la Función de la Relación entre los Factores socioeconómicos y los Incendios forestales en el Directorado de Manejo forestal de Serik.**

| ALDEAS   | BNT3  | ALDEAS       | SIINDKS | ALDEAS      | GLSMCGA | ALDEAS    | ISSIZ |
|----------|-------|--------------|---------|-------------|---------|-----------|-------|
| ALACAMI  | 30.56 | DEMIRCILER   | 20.03   | BILGINLER   | 62.16   | KADRIYE   | 6.28  |
| DORUMLAR | 28.20 | BOZDOGAN     | 20.16   | BUGUS       | 46.71   | BELEK     | 4.66  |
| BUGUS    | 26.45 | YESILVADI    | 20.23   | DENIZTEPESI | 39.32   | YESILVADI | 3.11  |
| GEBIZ    | 19.32 | HASKIZILOREN | 20.23   | SARIABALI   | 32.07   | TONGUCLU  | 1.57  |

## Conclusiones

Hay varias dimensiones al estudio de los incendios forestales. La primera dimensión puede ser examinar la relación entre el número de incendios por año y el área quemada. Una segunda dimensión para entender los incendios forestales podría examinar los componentes de las causas del “triángulo del fuego” (material inflamable, oxígeno, y temperatura”, la relación entre los elementos climáticos, el número de incendios, y el área quemada. La última dimensión consiste de estudios de modelaje del contenido de las sustancias inflamables y su densidad, etc., lo cual añade una dimensión importante en el entendimiento de los incendios forestales. Pero, a nuestro entender, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, la dimensión más importante es entender la relación entre los factores socioeconómicos y el número de incendios y el área afectada.

En este estudio hicimos precisamente esto, evaluar la relación entre los factores socioeconómicos y el número de incendios. En la primera etapa determinamos las variables socioeconómicas relevantes para los incendios forestales. Usamos el Análisis de Factores para determinar las variables socioeconómicas incluidas en cada grupo. Estos factores son también efectivos en investigar la ocurrencia de incendios.

Usando estos factores, la clasificación de las aldeas en el área de estudio por el número de incendios ocurridos en el periodo de 1979 al 2011 demostró que los factores explican muy bien lo ocurrido durante el periodo. Por lo tanto, denominamos estos factores “**factores de riesgo incendio-sociales**”.

El Análisis de Clústers es un indicador importante ya que demuestra que las aldeas pueden agruparse de acuerdo a variables socioeconómicas. Este análisis metodológico puede usarse como uno complementario ya que permite apoyar la evaluación resultante del proceso del análisis de la relación entre las variables socioeconómicas e incendios forestales.

Un hallazgo importante de este trabajo es que el número de incendios esta relacionado en proporción directa a un área forestal cerrada, es indirectamente proporcional con el área agrícola por hogar, es directamente proporcional al índice de temperatura, y en proporción directa con bosques de rodales de edad “D”. De igual manera, al clasificar las aldeas de acuerdo a las variables en proporción indirecta y miramos las 5 aldeas principales de acuerdo a las variables en el DMG de Taşgöl vemos que la mayoría de estas aldeas tienen un número alto de incendios forestales.

Se estimó la “función de relación de razones socioeconómicas de incendios” entre las variables socioeconómicas y el número de incendios para las aldeas en el DMF de Serik. Los resultados demuestran que el número de incendios esta en proporción directa con los sitios de áreas forestales de la tercera clase, en proporción indirecta directa con las variables índice de humedad relativa e índice de temperatura; y proporción directa con los niveles de empleo y los bosques con rodales de edad “A”.

Al comparar la “función de relación de razones socioeconómicas-incendios” usada para clasificar las aldeas en el DMF de Serik con el número de incendios ocurridos en las aldeas vemos que las aldeas con un alto número de incendios se encuentran en esa clasificación.

La relación entre las variables socioeconómicas y los incendios forestales puede variar por región (Coşgun, et al. 2010). Es conocido que el valor de las variables es diferentes por región. La magnitud de sus efectos también varía según el análisis.

Estos resultados demuestran que las variables efectivas en una region no lo son necesariamente en otra. Es también normal encontrar que hay diferentes variables por region. Por lo tanto, se debe considerar evaluaciones diferentes para cada region.

## Referencias

- Almeida A. M. F., Moura, P. V.** 1992. The Relationship of Forest Fires to Agro-Forestry and Socioeconomic Parameters in Portugal, *Journal of Wildland Fire* 2(1): 3740, 1992, USA.
- Almeida, A. M. F., Moura P.V.** 1986 Fogos florestais em Portugal: correlaço com alguns indicadores agroflorestais, pecukios e demogr8ficos. 1Vongresso Florestal National, Lisboa, 1986.
- Akkaş V. A.** 2008. Büyük Orman Yangınlarının Meteorolojik Veriler Işığında İncelenmesi, Ege Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No: 36, İzmir.

- Cerny, C.A., Kaiser, H.F.** 1977. A study of a measure of sampling adequacy for factor-analytic correlation matrices. *Multivariate Behavioral Research*, 12(1), 43-47.
- Coşgn, U., Tolunay, A., Yolcu, H. İ., Orhan, K. H.** 2010. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Orman Yangınlarına Neden Olan Sosyo-Emkonomik Faktörlerin Belirlenmesi, Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No: 40, Antalya.
- Doğan, N.** 2009. Orman Yangın Yönetimi ve Yangın Silvikültürü, Ankara.
- Kallidromitou, D., Bonazountas, M., Petros P., Caballero, D.** 1999. Forest Fire Management & Fire Prevention System, 14<sup>th</sup>.ESRI European Users Conference Germany, 15-17<sup>th</sup> November.
- Murtagh, F., Legendre, P.** 2011. Ward's Hierarchical Clustering Method: Clustering Criterion and Agglomerative Algorithm. <https://arxiv.org/pdf/1111.6285.pdf> .Accessed October 2016.
- Oktik, N.,** 2001. Orman Yangınlarının Sosyo-Ekonomik ve Kültürel Nedenleri, Muğla Üniversitesi Yayın No: 16, Muğla.
- Anonymous,** 2013. Orman Genel Müdürlüğü Orman Yangınlarıyla Mücadele Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Anonymous,** 2016. Orman Genel Müdürlüğü ORKÖY Dairesi Başkanlığı, Anlara.
- Kaiser, H.** 1974. An index of factor simplicity. *Psychometrika* 39: 31–36.

# Modelo Econométrico Para el Diagnóstico y Evaluación de Costes en la Planificación de Quemadas Prescritas en el Paisaje Forestal<sup>1</sup>

Francisco Rodríguez y Silva<sup>2</sup>

## Resumen

El progresivo incremento del uso de las quemadas prescritas, como técnica de manejo del fuego para la prevención y reducción del impacto de los incendios forestales, demanda el desarrollo de herramientas que permitan realizar los necesarios estudios de oportunidades de aplicación en el territorio. La generación de interesantes utilidades de esta técnica no sólo dirigida al control de la carga de combustibles forestales, sino también a la creación y mantenimiento de escenarios operacionales relacionados con la extinción y supresión de incendios forestales, requiere de análisis del paisaje en función de las múltiples variables que inciden en la toma de decisión. En este sentido y en relación con la planificación de las inversiones presupuestarias en el espacio y en el tiempo, la incorporación de las quemadas prescritas en el marco de los programas de defensa contra incendios forestales, requiere del correspondiente análisis de costes, a fin de su integración en el presupuesto total del programa de defensa contra incendios forestales y manejo del fuego. En la actualidad no se dispone de modelos que permitan pronosticar y estimar los niveles de costes económicos que implican el uso del fuego prescrito en los diferentes escenarios forestales.

La selección de las oportunas variables relacionadas directamente con las fases de planificación, ejecución y evaluación que implican el uso de las quemadas prescritas en el paisaje forestal, permite junto con los costes incurridos y los factores relacionados con la propagación del fuego, así como las diferentes técnicas de encendido, la determinación del conjunto de factores que permiten abordar el análisis econométrico dirigido a la modelización predictiva de los costes por hectárea, derivados de la ejecución del fuego prescrito en los entornos forestales, en los que se haya decidido aplicar quemadas prescritas como herramienta de gestión forestal. Con la determinación del modelo econométrico, se facilitan las oportunidades de planificación de los costes de aplicación de esta técnica, pudiendo incluso extender los resultados obtenidos hacia una geo-referenciación en el paisaje y ser integrados con los efectos en la reducción de los costes de extinción e incremento de la seguridad de la extinción por disminución de las intensidades en las propagaciones. La

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía Sobre los Incendios Forestales, 14-18 noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras. Solo el resumen disponible.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Forestal. Laboratorio de Incendios Forestales (LABIF-UCO). Universidad de Córdoba, Edificio Leonardo da Vinci, Campus de Rabanales, 14071, Córdoba, España

aplicación del modelo econométrico propuesto facilita la ayuda a la toma de decisión presupuestaria en la gestión de la prevención de incendios forestales en el paisaje.

# Percepción y Gestión de Riesgos Sociopolíticos en Grandes Incendios<sup>1</sup>

Armando González-Cabán<sup>2</sup> y Donald G. MacGregor<sup>3</sup>

## Resumen

Este trabajo examina el impacto percibido de factores sociopolíticos en la toma de decisiones en grandes incendios. El estudio se basa en un conjunto de 74 grandes incendios en las Regiones 5 y 6 del Servicio Forestal del USDA, en los años 2009-2013. Todos los participantes fueron gestores de incendios, algunos como parte de unidades afectadas por siniestros y otros relacionados con grupos gestores de siniestros. Se desarrolló e implementó un protocolo para respaldar una combinación de enfoques de recopilación de información, que incluyen entrevistas, recolección de datos tipo encuesta, y codificación de información de fuentes de documentación de siniestros. Se preguntó a los participantes si existió participación directa de individuos o grupos influyentes en el proceso de gestión de siniestros. Sus respuestas combinadas a estas preguntas sugieren que aproximadamente 50% de las ocasiones tuvieron conocimiento de la participación directa de individuos y grupos influyentes. Cuando se les preguntó si habían visto, escuchado o leído cobertura por parte de los medios relacionada con un siniestro *al momento en que este sucedía*, la mayoría (63.3%) reportó que no, o bien, que no lo recordaban. En general, los encuestados estaban un poco al tanto de lo que los medios difundían sobre los siniestros al momento en que estos sucedían, y su conocimiento por los tipos de medios cubría una amplia gama de vías de comunicación, incluyendo Internet.

**Palabras clave:** Riesgo de carrera, influencia de los medios de comunicación, gestión de riesgos, capital social, toma de decisiones en incendios forestales

## Introducción

El propósito de la gestión del riesgo es reducir el potencial del daño asociado a la exposición a condiciones peligrosas con la adopción de medidas adecuadas. En general, la gestión del riesgo se conceptualiza como una respuesta a los hallazgos o conclusiones de una evaluación de riesgos con la cuales se identifican los peligros, se

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este documento fue presentada en el Quinto Simposio Internacional de Políticas, Planeación y Economías de los Incendios Forestales: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Economista Investigador (retirado), USDA Forst Service. Pacific southwest Research Station, Riverside, California 92507

<sup>3</sup> Investigador Principal, MacGregor-Bates, Inc.

evalúan las exposiciones y se caracterizan los riesgos (National Research Council 2009). Esencialmente, la gestión del riesgo es un problema en la toma de decisiones basadas en el riesgo y el enfoque central de la gestión del riesgo es decidir entre alternativas de medidas de reducción de riesgos. Aunque este proceso proporciona una consideración explícita a los factores relacionados al riesgo asociados a la exposición a peligros, dicho proceso proporciona escasa o nula consideración a los riesgos emergentes del proceso de gestión de riesgos en sí. De hecho, dadas las incertidumbres inherentes asociadas a la gestión del riesgo, los resultados de las medidas de reducción de riesgos no se pueden conocer con certeza.

Consecuentemente, incluso las evaluaciones de riesgo y los planes de gestión de riesgo mejor intencionados conducen a resultados indeseados.

A la fecha, las aplicaciones en la toma de decisiones en la gestión del riesgo se han enfocado en el problema de gestión del riesgo como externo a quién toma la decisión y se hace en su nombre en apoyo a una decisión. Tal hecho indica que la evaluación del riesgo provee el marco para la identificación e implementación (incluyendo el monitoreo) de los esfuerzos de la gestión del riesgo. Considere el caso de los incendios forestales donde los gestores de incendio utilizan la evaluación del riesgo como la base para determinar los impactos potenciales de incendio en valor en riesgo (ej., recursos naturales, propiedad privada), así como también los riesgos a aquellos expuestos a peligros de incendios forestales como parte de la gestión del riesgo (ej. incendios forestales).

Dos elementos clave que reciben muy poca atención en la investigación de la gestión del riesgo están relacionados con la persona que toma las decisiones en la gestión del riesgo como agente personal y el contexto social más amplio en el cual la persona que toma las decisiones opera. Estos dos elementos se pueden caracterizar como riesgo para la carrera y riesgo para el capital social.

## **Riesgo para el capital social**

Con respecto al contexto social, muchas decisiones basadas en el riesgo tienen impacto no solo en las organizaciones con las cuales los gestores de riesgo están asociados, sino también tienen impacto en los actores externos a la organización del gestor de riesgo con consecuencias potenciales al capital social. En algunos contextos de gestión del riesgo, los impactos al capital social pueden tener una influencia que va más allá de una situación específica de gestión del riesgo (ej. incendio forestal) y dentro de otras áreas de gestión donde el capital social es crítico al éxito del gestor del riesgo como persona que tome la decisión (ej., las acciones de “NEPA” [National Environmental Protection Act]). De manera similar, los gestores de riesgo que trabajan juntos en un problema de manejo del riesgo (ej. los oficiales de línea y los

comandantes de incidentes) se pueden apoyar en el capital social para llevar a cabo su trabajo con calidad y eficiencia pero debido a factores de la situación (ej. estrés alto, capacidades de liderazgo), tienen en riesgo el capital social asociado a su relación laboral. Para las organizaciones que cuentan con apoyo público para alcanzar su misión, como lo hace la “USDA Forest Service”, un alto nivel del social capital es crítico para alcanzar objetivos organizacionales, particularmente en el contexto del manejo de incendios.

## **Riesgo para la imagen y carrera de la persona que toma la decisión**

Los gestores de riesgo pueden enfrentar impactos potenciales para su imagen y carrera en función a los resultados de las decisiones basadas en el riesgo que puedan tomar. Por ejemplo, académicos en etapa de evaluación “pre-tenure” que trabajan a través de líneas disciplinarias tradicionales se han encontrado experimentando riesgos de carrera cuando desarrollan agendas que están enfocadas en problemas interdisciplinarios como cambio climático (Fischer, et. al. 2012). Hasta la fecha, tenemos poco avance en cómo el riesgo de carrera puede contribuir en la toma de decisiones basadas en el riesgo como parte de la gestión del riesgo, aunque sí contamos con algo de pruebas anecdóticas que en el dominio de toma de decisiones de inversión profesional, un reto significativo para profesionales de inversión es enfrentarse con el riesgo de carrera y protección de trabajo como un agente de inversión (ej., Grantham 2012). Por lo tanto, las percepciones del riesgo de carrera pueden conducir a los gestores de riesgo a evasión excesiva de errores o resultados negativos (aversión al riesgo) y a poner demasiada atención a comportarse como otros lo han hecho para evitar estar mal o erróneos por su cuenta. <sup>4</sup>

## **Contexto del estudio**

En el manejo de un incendio el riesgo es inherente. Los incidentes de gran escala como aquellos que cuestan millones de dólares manejar y extinguir, presentan múltiples fuentes de riesgo, incluyendo riesgos al personal de incidentes así como también riesgos para la base de recursos en forma de daños causados por medidas de extinción de incendio. La toma de decisiones en el contexto de grandes incendios es

---

<sup>4</sup> En el contexto de gestión de la seguridad, un informe de la organización *Dialogos* para la USDA Forest Service ha proporcionado evidencia anecdótica que en algunos contextos los empleados se encuentran renuentes a expresar sus inquietudes debido a las percepciones de impactos en la carrera. El informe titulado “Taking All Employees on A Safety Journey” se puede acceder en: <http://www.reclink.us/page/taking-all-forest-service-employees-on-a-safety-journey-slp-7-saf>. (Último acceso: 10 de junio de 2015).

la base para la gestión del riesgo y no puede existir un completo entendimiento de cómo se toman las decisiones sin antes tener un entendimiento de características multidimensionales de los riesgos asociados a los incendios y al manejo de incendios en estos eventos de gran escala (MacGregor 2006).

### **Percepción y manejo de riesgos sociopolíticos en grandes incendios.**

En años recientes, el enfoque en la toma de decisiones acerca de grandes incendios se ha centralizado en el costo y la gestión del costo. Sin embargo, el costo de los incendios forestales se encuentra en una base por acre, particularmente los más grandes incendios no son totalmente predecibles de las características biofísicas del contexto solamente (Canton-Thompson et al. 2006, González-Cabán 1997, González-Cabán et al. 1984, Gebert et al. 2007, McKetta & González-Cabán 1985). Algunas investigaciones sugieren que los costos de los incendios se pueden asociar a factores sociales como la cobertura mediática (ej., Donovan, Prestemon & Gebert 2011). No obstante, el papel de la toma de decisiones en costos como un resultado de la gestión del riesgo permanece incierta.

Una característica de grandes incendios que es comúnmente identificada como un contribuyente al costo, es una categoría relativamente amplia de peligros que se puede conceptualizar como naturaleza sociopolítica. Tales peligros incluyen daños o perjuicios potenciales a la imagen de la agencia o la imagen de los gestores de incendio por fracasar al tomar medidas, incluso si dichas medidas no son muy viables para lograr un resultado positivo con respecto al manejo de las propiedades físicas del incendio (ej. propagación, daños, intensidad). La investigación sobre el papel de la confianza (como un elemento del capital social) ha sugerido la importancia de la confianza la gestión efectiva y eficiente de recursos naturales (ej., Cvetkovich & Winter 2007, Liljeblad & Borrie 2006). Sin embargo, a la fecha no tenemos investigaciones que identifiquen las rutas por las cuales el capital social (y la confianza) entran en las decisiones de manejo de incendios que ocurren al momento de un incidente. Tales decisiones incluirían aquellas que involucran en nivel de recursos asignados, agresividad relativa de tácticas y estrategias, eficacia general de respuesta ante incidentes y respuestas a acontecimientos mediáticos.

Nuestra hipótesis trata de que el concepto de riesgo en el manejo de grandes incendios se extiende más allá del potencial de daños físicos e incluye impactos negativos percibidos hacia las relaciones sociales, carreras personales y confianza en liderazgo. Dichas percepciones pueden conducir a una creencia generalizada acerca de que es mejor hacer todo lo posible incluso si tales medidas no producen un resultado físico positivo pero sí producen un resultado sociopolítico valorado. De este modo, hipotéticamente, la gestión del riesgo puede tener una variedad de propósitos como meta u objetivo, algunos de los cuales pueden no ser físicos.

La presente investigación es un paso hacia la expansión de nuestro entendimiento de la relación entre factores sociopolíticos y toma de decisiones a nivel de incidentes. Aunque la documentación de incidentes informa en factores tales como asignación de recursos, costos, acres impactados y valores en riesgo, éstos no están acompañados por una indicación de factores sociopolíticos como los medios reportando y la participación política en un incidente que pudiera tener influencia en, por ejemplo, estrategias de manejo de incendios, tácticas, supresión del requerimiento del recurso y supresión de la asignación del recurso.

Para poder sortear estos retos, la presente investigación se enfocó en elementos de decisiones de incidentes y solicitó al personal asociado con incidentes reales informar sus experiencias con influencias sociopolíticas en incidentes así como también el impacto de esas influencias en decisiones claves de incidentes, incluyendo estrategias, tácticas y objetivos de manejo de incendios. El método generalmente siguió los lineamientos de investigación previa que utilizó la modelación de decisiones como base para caracterizar decisiones de manejo de incendios (MacGregor & González-Cabán 2008).

## **Método de estudio**

La metodología para esta investigación se basó en una combinación de entrevistas estructuradas y auto-informes de gestores de incendio, incluidos los administradores de la agencia, los oficiales de manejo de incendios y personal de comando de incidentes que sintetizaron sus experiencias en casos específicos de incidentes de fuego. Además, la información también fue recolectada de una serie de bases de datos existentes relacionadas con incendios, en particular del sitio web “Fire & Aviation Management FAMWEB (<http://www.famweb.gov>),” y “The Wildland Fire Decision Support System (WFDSS, <http://www.wfdss.gov>), y el sitio web de incidentes InciWeb (<http://www.nwcg.inciweb.gov>).

Se desarrolló un protocolo de auto-informe que también sirvió como una guía de entrevista estructurada. El protocolo fue diseñado para ser breve pero inclusivo con respecto a las posibles influencias de los factores sociales en la toma de decisiones en incidentes, e incluye: 1) influencias y presiones políticas incluyendo grupos influyentes; 2) informes y cobertura de los medios, incluyendo los tipos de medios de comunicación el tiempo de los reportes de los medios de información con respecto a la línea de tiempo del incidente y las medidas adoptadas en respuesta a la información de los medios. 3) Las medidas adoptadas para manejar los riesgos asociados a presiones sociopolíticas a través de modificaciones en estrategias de incidentes, tácticas de incidentes, cambios en los objetivos, y cambios en el número y tipo de los recursos de supresión.

Los incidentes fueron seleccionados durante un período de cinco años, comenzando en 2009 y terminando con la temporada de incendios de 2013 para las Regiones 5 (Pacífico Suroeste - California), y 6 (Oregón y Washington) del Servicio Forestal del USDA. Solamente los incidentes que estén completamente (o mayormente) en tierras bajo la jurisdicción del Servicio Forestal del USDA o estén gestionados por un administrador de una agencia del Servicio Forestal del USDA, fueron gestionados por un equipo de manejo de incidentes (IMT, por sus siglas en inglés) ya fuera tipo I o tipo II y tuvieron un costo de \$2,000,000 o más.<sup>5</sup>

Para cada incidente se preparó una Línea de Tiempo de Incidente con base en información de las diversas fuentes de documentación de información mencionadas anteriormente. En la medida de lo posible, los gestores de incendios fueron contactados tan pronto como fue factible, después del incidente para solicitar sus respuestas al protocolo.

Se enfrentaron diversos retos al conducir un estudio de este tipo: 1) Los grandes incendios generalmente ocurren durante la fase más activa de la temporada de incendios y los gestores de incendios no están disponibles fácilmente; 2) el día 14 la rotación de personal incidente resulta estar siendo manejado por un número distinto de equipos de manejo de incidentes; y 3) la falta de disponibilidad de los oficiales de línea y oficiales de manejo de incendios debido a la alta carga de trabajo durante la temporada de incendios. Para eludir algunos de estos problemas, siempre que fue posible, se identificaron los individuos y se contactaron por correo electrónico para solicitar su participación. De estar de acuerdo, recibieron una copia electrónica del protocolo de investigación. A pesar de que la documentación de incidentes generalmente no contiene direcciones electrónicas para el personal relevante, los oficiales de línea y su equipo generalmente se encuentran con la unidad de gestión territorial en donde ocurre un incidente, lo cual hace que sean más fácil de identificar y contactar. Por el otro lado, el personal del equipo de manejo de incidentes proviene de un número de unidades y su participación en un equipo de manejo de incidentes constituye una tarea adicional.

El contacto por correo electrónico se logró cuando era posible y a los encuestados se les proporcionó una copia del protocolo para completarlo y regresarlo. Cuando tal dinámica no fue lograda, se buscaron a los participantes vía telefónica para administrarles el protocolo de manera personal por entrevista telefónica. Debido a la dificultad de entrevistarles durante la temporada de incendios, la mayoría de las entrevistas se atrasaron hasta que la temporada de incendios fue abatida.

Se recolectaron detalles específicos de incidentes de las diferentes fuentes mencionadas anteriormente y se usaron para describir el incidente y establecer un

---

<sup>5</sup> Los años de incendios 2009, 2010 y 2011 fueron relativamente bajos en Regiones 5 y 6 y los costos de incendios fueron relativamente más bajos que el promedio.

contexto para responder el cual se enfocó en el incidente en particular en el cual cada individuo había participado. De igual forma, otras sedes brindaron la oportunidad de conducir entrevistas con el personal de manejo de incendios y otras sedes proporcionaron un número substancial de encuestados. En algunas ocasiones esto permitió que otros individuos se involucraran como participantes del estudio.

Finalmente, en grandes incidentes o de larga duración un equipo de manejo de incidentes en particular puede pasar sólo dos semanas (o quizás menos). El personal local de manejo puede cambiar las responsabilidades por un incidente de fuego en su unidad a medida que el incidente cambia de tamaño, alcance y complejidad. Como resultado, es relativamente raro en incidentes grandes que un solo individuo tenga un panorama completo de todos los aspectos de un incidente y particularmente de aquellos elementos que no son parte del proceso estándar por el cual el manejo de incidentes es documentado e informado.<sup>6</sup> Nuestro método proporciona, en el mejor de los casos, una mirada hacia cómo los gestores de incendios perciben los factores sociopolíticos y el papel que dichos factores pueden jugar en la toma de decisiones basadas en el riesgo en un incidente.

Con el objetivo de mejorar la franqueza en las respuestas, se les aseguró a los encuestados su anonimato y toda la información referente a su identidad se eliminó de los protocolos de encuestas y entrevistas.

## Resultados

Un total de 74 incidentes ocurrieron en Regiones 5 (n=46) y (n=28) para los años 2009 – 2013 que obtuvieron los criterios descritos anteriormente. Se obtuvieron total de 173 protocolos a través de la combinación de técnicas descritas en el método de estudio. Algunos encuestados individuales aparecieron más de una vez en el conjunto de datos resultante porque fueron asociados a más de uno de los 74 incidentes. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando un bosque en particular tuvo más de un incidente que obtuvo los criterios de selección durante los cinco años de estudio. De la misma forma, el personal de comando de incidentes puede trabajar en diferentes asignaciones no sólo por el periodo de cinco años, sino incluso dentro de una determinada temporada de incendios.

Los primeros tres años de estudio (2009-2011) tuvieron temporadas bajas de incendios inusuales, particularmente la Región 5 para los años 2010 y 2011. Los incidentes oscilaron en acres quemados con un mínimo de 142 acres a un máximo de 257,135. El rango en la Región 6 fue más estrecho que en la Región 5. Las fuentes de

---

<sup>6</sup> Una excepción al ciclo de trabajo de 14 días para equipos de manejo de incidentes es la NIMO (National Incident Management Organization) que fue establecida en parte para proporcionar manejo continuo sin rotación en incendios de larga duración.

ignición se le atribuyeron a causa humana pero con una gran diferencia entre regiones. Los incendios atribuidos a la causa humana se contabilizaron por sobre el 76% de los incidentes en la Región 5 pero sólo cerca del 21% de aquellos en la Región 6. Una cierta cantidad de incidentes por año fue muy pequeña para obtener una comparación confiable de causalidad en una base anual.

## **Participación de grupos e individuos influyentes**

Se les pidió a los encuestados que indicaran la participación directa de grupos e individuos influyentes en el incidente en cuestión. La participación directa se definió como “expresar un interés directo en un incidente a través del contacto con los gestores de incendios ya fuera por teléfono o en persona”. Los individuos influyentes incluyen varios oficiales electos de gobierno y/o su(s) delegado(s). Grupos influyentes incluyen grupos culturales o tribales así como también amplias categorías de grupos que incluyen grupos públicos, grupos de gobierno y otros grupos interesados. En todos los casos, los encuestados tuvieron la libertad de dar más de una respuesta ya que más de un individuo o grupo influyente pudo haber estado participando.

En la mayoría de los casos (52.5%) los encuestados respondieron “no sé” o la pregunta acerca de los individuos influyentes participando directamente no fue contestada. La mayoría de los individuos influyentes que participaron se encontraban en niveles gubernamentales de estado o más bajos, lo cual comprendió 81% de las respuestas para las cuales se indicó al menos un individuo influyente (o delegado). La participación a nivel más alto (ej., gobernador o a nivel congreso) fue relativamente infrecuente aunque se presentó en algún momento en algunos incidentes.

Con respecto a grupos influyentes, cerca del 67% respondió “no sé”, lo cual es más alto comparado con los individuos influyentes. De otros grupos específicos mencionados, “grupos públicos” recibieron la respuesta más alta (13%), seguido por “cultural/tribal” (9%).

Todos en conjunto, los resultados sugieren que los encuestados estuvieron la mitad del tiempo conscientes de la participación directa de individuos influyentes y (en un grado menor) grupos influyentes. Sin embargo, es importante recordar que los encuestados variaron en términos de la etapa de un incidente donde ellos pudieron haber estado en una posición de saber directamente si individuos o grupos influyentes participaban de alguna forma. En general, parece que en algún momento, algunos encuestados de incidentes sí tenían conocimiento de partidos influyentes que estaban participando directamente con el personal.

## Cobertura y reportaje de medios

Casos de incendio y particularmente grandes incendios, tienen el potencial de atraer la atención de los medios. Típicamente, los equipos de manejo de incidentes tienen como parte de su personal a un Director de relaciones públicas (PAO por sus siglas en inglés) o un Director de información pública (PIO por sus siglas en inglés) en ocasiones tienen a ambos. Las unidades de manejo local (ej., Forestal, guardabosque de distrito) pueden también tener personal de relaciones públicas y directores información que proporcionan información a los medios según lo soliciten.

Se les pidió a los encuestados que indicaran a través de un conjunto de elementos su experiencia en reportaje y cobertura de medios en un(os) incidente(s) en específico en el/los cual/cuales ellos participaron, incluyendo el tipo de reportaje que ocurrió, la presencia del personal de medios en el incidente y su compromiso personal con el personal de medios.

La mayoría de los participantes (63%) informaron que no se acordaban o no podían recordar de cuando se les preguntó si habían visto, escuchado o leído personalmente, cobertura de medios asociada a un incidente *en el momento del incidente*. De aquellos que informaron (37%) vieron, escucharon, o leyeron personalmente cobertura de medios al momento del incidente, la respuesta más común fue de medios impresos (92%), seguidos por televisión (65%), radio (52%) e internet (41%). En general, los encuestados estaban conscientes de los medios asociados a un incidente al momento del incidente y en sus formas diversas; incluyendo el internet y el uso de redes sociales para proporcionar no solo información pública sino también darle oportunidad al público de responder al progreso de un incidente y sus percepciones de manejo de incidentes a través de mecanismos como *Twitter* o *Facebook*.

Cuando se les preguntó acerca de personal de medios en el incidente, ya fuera a las oficinas de unidad de manejo (ej. Oficina de supervisor forestal, Oficina de guardabosque de distrito) o en el Lugar de comando de incidentes (ICP por sus siglas en inglés), los encuestados no estaban conscientes del personal de medios en cualquiera de las locaciones (72%) o respondieron “no sé” (19%). De estas respuestas se deduce que parece no ser muy común contar con la presencia de personal de medios en el lugar de los incidentes.

En general, los encuestados estaban de alguna forma consciente de los medios reportando incidentes al momento de los incidentes y sus conocimientos de los tipos de reportajes abarcaban un amplio rango de rutas de información, incluyendo el internet. La mayoría de los encuestados no se encontraban conscientes del personal de medios presente en el sitio o no sabían. Una vez más, sin embargo, los encuestados variaban en términos de compromiso en un incidente y sus respuestas no

podían interpretarse como que el personal de medios no estaba presente en un cierto incidente durante el lapso total. Un porcentaje relativamente pequeño de encuestados informó que participaron entrevistas con el personal de medios ya fuera en persona o vía telefónica. Cuando lo hicieron, el tono de las entrevistas resultantes se informó que era o solidario o factual. Aunque en el caso de La Estación de incendios (2010) el reportaje de los medios tomó un tono crítico (Pringle, 2009).

## Reportaje de los medios y decisiones en incidentes.

Se les preguntó a los encuestados acerca de la influencia potencial del reportaje de medios en decisiones de incidentes tanto en términos generales como en específicos en el incidente en cuestión (*tabla 1*).

**Cuadro 1.** Reportaje de los medios y decisiones en incidentes

| Pregunta   | Porcentaje indicado |
|--|---------------------|
| <b>¿El reportaje de los medios le hizo sentir presionado a cuestionarse o cambiar de decisión?</b>                       |                     |
| No   | 77.5%               |
| Sí   | 9.8                 |
| No sabe/No contestó/No está seguro   | 12.7                |
| <b>En general, ¿cree que el reportaje de los medios acerca de grandes incendios influye en decisiones de incidentes?</b> |                     |
| No   | 57.2%               |
| Sí   | 13.3                |
| No sabe/No contestó/No está seguro   | 29.5                |

Como se aprecia en la tabla, en el caso general, los encuestados se inclinaron menos en ver el reportaje de los medios como una influencia en decisiones que en el caso específico (57% vs. 78%).

Asimismo, en el caso general, cerca del doble de los encuestados fallaron al contestar la pregunta o estaban inseguros al contestar comparado con el caso específico (30% vs. 13%). También en el caso general, los encuestados se inclinaron más a sentir presión del reportaje de medios al cuestionar o cambiar decisiones (13%) comparado con el incidente específico (10%).

## Medidas para manejar riesgos sociopolíticos

Se les pidió a los encuestados que indicaran los tipos de acciones tomadas para manejar riesgos y objetivos sociopolíticos (*Cuadro 2*). Las medidas potenciales

incluyen cambios en estrategias de incidente, tácticas y objetivos, así como también cambios en recursos del suelo y aviación.

**Cuadro 2. Medidas adoptadas en los intereses del manejo de riesgo sociopolíticos**

| <b>Pregunta</b>   | <b>Porcentaje indicado</b> |
|---|----------------------------|
| <b>En su conocimiento, ¿qué medidas fueron tomadas con respecto a las Estrategias de incidentes en los intereses del manejo de riesgo sociopolíticos?</b> |                            |
| Más agresivas   | 7.5%                       |
| Menos agresivas   | 0.0                        |
| No hubo cambio en estrategias   | 76.9                       |
| No sabe/ No contestó  | 15.6                       |
| <b>¿Tácticas de incidentes?</b>   |                            |
| Más agresivas   | 17.3%                      |
| Menos agresivas   | 0.0                        |
| No hubo cambio en estrategias   | 67.6                       |
| No sabe/ No contestó  | 15.0                       |
| <b>¿Objetivos de incidentes?</b>  |                            |
| Se ampliaron los objetivos existentes   | 6.4%                       |
| Se redujeron los objetivos existentes   | 0.0                        |
| Se eliminaron (algunos) los objetivos de incidentes   | 0.0                        |
| Se añadieron los objetivos de incidentes  | 9.2                        |
| No hubo cambio en los objetivos de incidentes   | 49.7                       |
| No sabe/ No contestó  | 22.5                       |
| <b>¿Incidentes de recursos del suelo?</b>   |                            |
| Se añadieron los recursos del suelo   | 3.5%                       |
| Se redujeron los recursos del suelo   | 0.0                        |
| No hubo cambio en los recursos del suelo  | 72.8                       |
| No sabe/ No contestó  | 23.7                       |
| <b>¿Incidentes de recursos de aviación?</b>   |                            |
| Se añadieron los recursos de aviación   | 15.0%                      |
| Se redujeron los recursos de aviación   | 0.0                        |
| No hubo cambio en los recursos de aviación  | 54.3                       |
| No sabe/ No contestó  | 30.6                       |

En general, sólo un pequeño porcentaje indicó que en respuesta a presiones sociopolíticas se aplicaron respuestas más agresivas en: estrategias, tácticas de incidentes, se ampliaron los objetivos de incidentes y se añadieron objetivos de incidentes. En su mayor parte la mayoría de los encuestados informaron que no hubo cambio en ninguna de estas categorías.

Con respecto a los cambios de recursos de supresión, sólo un porcentaje pequeño indicó un incremento en recursos del suelo y un porcentaje ligeramente más

alto indicó un aumento en recursos de aviación. Una vez más, los encuestados en su mayor parte indicaron que no hubo cambios en los recursos de suelo ni aviación en los intereses del manejo de presiones sociopolíticas.

## **Presiones sociopolíticas y percepciones de incidentes de riesgo**

Se les pidió a los encuestados indicar sus percepciones de la influencia de presiones sociopolíticas en un riesgo de incidente operacional y el grado en el que los aumentos en riesgo (si lo hay) fueron mitigados.

Aquí las respuestas estuvieron generalmente alineadas con respuestas anteriores pertinentes a los cambios en factores de incidente como las tácticas y recursos: sólo 19% de los encuestados respondieron que el riesgo operacional en un incidente incrementó como resultado de presiones sociopolíticas, mientras que el 47% indicó que no hubo efecto en el riesgo. Para el subconjunto de encuestados (n=32) que indicaron un incremento en el riesgo, la mayoría pensó que el incremento fue de alguna forma mitigado. Sin embargo, estas respuestas se mezclaron con los porcentajes e indicaron que los riesgos fueron totalmente mitigados (59%) mientras otros (19%) no sabían o no contestaron la pregunta. Ninguno de los encuestados respondió que los riesgos no fueron mitigados. Con respecto a la mayoría de los encuestados no respondieron o no sabían el efecto de presiones sociopolíticas en el costo. El resto de los encuestados indicaron que el costo se elevó (18%) o que no hubo efecto alguno en el costo (14%).

## **Percepción de riesgo de la carrera**

A la persona que toma las decisiones le preocupa que los riesgos de carrera asociados a los resultados de decisiones que hace, han recibido relativamente poca, o nada de atención en el contexto de toma de decisiones en manejo de incendios, las respuestas iniciales al protocolo de investigación indicaron un nivel alto sin respuesta de sondeos relacionados con el concepto de riesgos de carrera. Revisiones subsecuentes con un conjunto pequeño de encuestados revelaron que aunque el personal a veces hace referencia a los riesgos de carrera en conversaciones, el concepto en sí es complejo y altamente personal. “La carrera” se puede interpretar de diversas maneras dependiendo de las aspiraciones y deseos de avanzar de un individuo en su vida laboral, lo cual se ve afectado por sus habilidades inherentes de alcanzar dicho avance. Por lo tanto, un riesgo de carrera para un individuo puede no ser un riesgo para otro simplemente porque tienen objetivos distintos con respecto a su carrera y le otorgan un valor diferente a la carrera como un elemento de su satisfacción de vida en general. Igualmente, la noción de riesgo de carrera conlleva algún tipo de pérdida que pudiera adoptar diferentes formas personalmente definidas fluctuando en

severidad dependiendo de los objetivos de carrera. Finalmente, el personal a veces utiliza el referente “caso de carrera terminada” para describir una acción o resultado que es catastrófico en naturaleza con respecto a la carrera de uno. En realidad, los casos de carrera terminada son extremadamente raros y las entrevistas con gestores de nivel más alto han identificado pocos casos en los que empleados de Agencia han sido despedidos a causa de las acciones que tomaron. No obstante, las nomenclaturas existen y, con toda probabilidad, forman al menos parte de base psicológica para percibir potencial para pérdidas personales relacionadas con la carrera, asociadas al manejo de riesgo en su papel de persona que toma las decisiones.

Para evitar algunas de estas dificultades se seleccionó un subconjunto de encuestados para participar en un entrevista basada en el método, ya fuera en persona o por teléfono. Se desarrolló un protocolo de entrevista que utilizaba ambos formatos de respuestas abiertas y estructuradas, permitiéndoles así a los encuestados a hablar libremente de sus perspectivas en riesgos de carrera mientras al mismo tiempo, donde fue posible, obtenían sus puntos de vista en un formato estructurado. Las respuestas abiertas al protocolo de entrevista se codificaron y categorizaron. Un total de 39 encuestados (del total de encuestados en el estudio,  $n=73$ ) participaron en este aspecto del estudio.

En general, los encuestados vieron los riesgos de carrera como referencia a algún otro caso o resultado que los afecta personal y negativamente en el contexto de su vida laboral. Algunas expresiones como “cosas malas pasan” o “posible pérdida de credibilidad” caracterizaron algunas menciones. Cuando se les preguntó si había habido alguna ocasión (u ocasiones) en su carrera en que se sintieron expuestos al riesgo de carrera, 100% de los encuestados indicaron que ellos están expuestos al riesgo de carrera. Las situaciones en las que ellos fueron expuestos variaron y los encuestados, en algunas ocasiones, tuvieron dificultad para caracterizarlas. Algunas de las situaciones más comunes tuvieron que ver con riesgos asociados a la situación en sí (26%), percepción de cuestiones de responsabilidad jurídica (23%), instrucciones poco clara o conflictos de manejo (56%) y situaciones sociopolíticas complejas (78%).

Cuando se les preguntó acerca de sus percepciones de consecuencias asociadas con el riesgo de carrera, las respuestas variaron y generalmente se enfocaron ya fuera en pérdida de imagen de liderazgo, confianza y credibilidad. Cerca del 36% percibió impactos psicológicos incluyendo arrepentimiento y culpa. Otros impactos potenciales mencionados a motivación de carrera (23%). Algunos (18%) percibieron consecuencias de riesgo de carrera en términos de pérdida de oportunidades de ascenso, mientras otra porción relativamente importante percibió las consecuencias en términos de mayor dificultad al hacer su trabajo (62%).

Lo que los gestores de incendio hacen para manejar estos riesgos es una consideración importante. Dado el rango de expresiones que los encuestados dieron a las consecuencias de riesgo de carrera (antes mencionados), se espera que la gestión de riesgo junto con estos lineamientos se enfoque, ya sea en reducir la exposición o comportarse en ciertas formas que incitan o construyen el capital social. Decidir como otros han decidido en el pasado (“pastoreo”) era una estrategia de manejo de riesgo relativamente común para afrontar el riesgo de carrera (41%), como lo era limitar la responsabilidad (36%). Otros, sin embargo, informaron que no hacen nada para manejar el riesgo de carrera y considerarlo como parte del trabajo que no se puede evitar (33%).

Se les pidió entonces a los encuestados que concentraran sus pensamientos en un incidente específico asociado a su participación en este estudio. Al momento de enfocarse en un incidente en particular ellos informaron en un estudio, la categoría de riesgo de carrera experimentado cayó considerablemente a sólo 15%. Parece que aunque relativamente un gran número de encuestados habían experimentado riesgo de carrera, en un dado incidente la probabilidad fue relativamente baja. Desde un punto de vista psicológico, esto sugiere que las experiencias de riesgo de contrato son impactantes y por lo tanto, memorables. Por consiguiente, ellos pueden tener la habilidad de influenciar actitudes y comportamientos por un tiempo significativamente largo (ej., meses o años). Estudios más enfocados en riesgo de carrera con respecto a tipos de manejo de situaciones en los cuales el riesgo ocurre podrían revelar información útil acerca de cómo mejorar las prácticas para contextos que producen percepciones de riesgo de carrera.

## **Discusión y conclusiones**

Este estudio fue desafiante en diferentes aspectos. Primero, la intención era alejar las impresiones generales que los gestores que tienen acerca de factores sociopolíticos y su relación con factores de incidentes para así ir hacia juicios más enfocados a incidentes específicos basados en experiencia personal con un cierto incidente de tamaño suficiente a atraer potencialmente la atención sociopolítica. Al enfocarse en gestores de incendios clave que son más propensos a haber jugado al menos algún papel en la toma de decisiones en general en un incidente, se puede obtener una perspectiva en un panorama más grande del incidente. Por otro lado, ningún individuo en un gran incendio define y representa por completo la toma de decisiones en el incendio.

Percibimos el presente estudio como una entrada al desarrollo de un mayor entendimiento entre el contexto social dentro del cual sucede el manejo del incendio y la relación de factores sociales contextuales en la toma de decisiones en un

incidente. En este sentido el estudio busca abrir avenidas por las cuales se puede obtener una concientización más profunda de la mirada de factores psicológicos que juegan un papel en el manejo de incidentes y asociados a decisiones basadas en el riesgo.

Aunque somos cautelosos acerca de lo que hemos aprendido aquí, podemos ofrecer algunas interpretaciones y especulaciones basadas en los resultados obtenidos. Notamos que para muchas de las preguntas hechas a los encuestados se obtuvieron niveles altos de respuestas imprecisas. Éstas fluctuaron alrededor de las líneas de “no sé”, “no estoy seguro” o “sin respuesta”. No lo tomamos como indisposición a cooperar si no como un indicador potencial de la dificultad que los gestores de incendio tienen con un entendimiento completo de cómo el contexto social influye sus propios procesos de toma de decisiones. Además, y para ser justos, algunas de las preguntas formuladas en el protocolo de investigación pudieron haber tenido temas sondeados que eran incómodos dadas las especificaciones del incidente, o relativamente nuevos dado que a muchos no se les había solicitado antes en un contexto orientado a la investigación. En este contexto, notamos que la influencia de factores sociopolíticos *en* decisiones de incidentes va mano a mano con la influencia de decisiones de incidentes *en* factores sociopolíticos. A la fecha, no hemos desarrollado modelos que clarifiquen esta relación a detalle. De igual forma, sin este entendimiento profundo de las complejidades del ambiente sociopolítico siempre corremos el riesgo de manejar el riesgo con una habilidad limitada para estimar la multiplicidad de factores que ambos conducen las decisiones del incidente los resultados relacionados incluyendo costos.

Con respecto al riesgo de carrera, de los resultados parece que los gestores de incendio no sólo están conscientes de este aspecto de la gestión del riesgo sino que también tienen algunas percepciones articuladas de las consecuencias del riesgo de carrera en ellos personalmente. Ya sea que estas percepciones son adaptadas por efectos reales en sus carreras de gestores de incendios es otra cuestión. No obstante, tomamos las dificultades que algunos encuestados tuvieron para expresar sus puntos de vista acerca del riesgo de carrera como al menos una confirmación parcial que el tema requiere investigación más amplia con un enfoque hacia clarificar el causas que originan los riesgos de carrera así como también mejorar nuestro entendimiento de riesgos de carrera percepciones y decisiones relacionadas con incidentes.

## **Agradecimiento**

Esta investigación fue financiada por el USDA Forest Service, Estación de Investigación Pacífico Suroeste, bajo el Acuerdo No. 09-JV-11272165-072 y MacGregor Bates, Inc. Agradecemos a todos las personas que colaboraron con

tiempo y experiencias en apoyo a este estudio. Su contribución es enormemente apreciada.

## Referencias

- Canton-Thompson, J., Thompson, B., Gebert, K., Calkin, D. Donovan, G. Jones, G.** 2006. Factors affecting fire suppression costs as identified by incident management teams. Res. Note RMRS-RN-30. Missoula, MT: Rocky Mountain Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 10 p.
- Cvetkovich, G.T., Winter, P.L.** 2007. The what, how, and when of social reliance on cooperative risk management. In: M. Siegrist, T.C. Earle, & J. Gutscher (Eds). *Trust in cooperative risk management: Uncertainty and skepticism in the public mind.* (pp 187-209). London, UK: Earthscan.
- Donovan, G.H., Prestemon, J.P., Gebert, K.** 2011. The effect of newspaper coverage and political pressure on wildfire suppression costs. *Social & Natural Resources*, 24:8, 785-798.
- Fischer, E.V., Mackey, K.R.M., Cusack, D.F., DeSantis, L.R.G., Hatsell-Nichols, L., Lutz, J.A., Melbourne-Thomas, J., Meyer, R., Riveros-Iregui, D.A., Sorte, C.J.B., Taylor, J.R., White, S.A.** 2012. Is pretenure interdisciplinary research a career risk? *Eos Trans. AGU*, 93:32, 311-312. (DOI: 10.1029/2012EO320004)
- Gebert, K.M., Calkin, D.E., Yoder, J.** 2007. Estimating suppression expenditures for individual large wildland fires. *West. J. Appl. For.* 22(3), 188-196
- González-Cabán, A.** 1997. Managerial and institutional factors affect prescribed burning costs. *Forest Sci.* 43(4), 535-543.
- González-Cabán, A., McKetta, C.W., Mills, T.J.** 1984. Costs of fire suppression forces based on cost-aggregation approach. Res. Paper PSW-171. Berkeley, CA: Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 16 p.
- Grantham, J.** 2012. Jeremy Grantham on investment management career risk. *The Reformed Broker*. Retrieved from: <http://www.thereformedbroker.com/2012/07/31>. Last retrieval: 28 August, 2012
- Liljeblad, A., Borrie, W.T.** 2006. Trust in wildland fire and fuel management decisions. *International Journal of Wilderness*, 12, 39-43.
- MacGregor, D.G.** 2006. The future of fire in environmental management. *Futures*, 38, 505-518.
- MacGregor, D.G., González-Cabán, A.** 2008. Decision modeling for analyzing fire action outcomes. Res. Paper PSW-RP-258. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, U.S. Department of Agriculture; 67 p.
- MacGregor, D.G., Seesholtz, D.N., Potash, J.** 2014. A system dynamics approach to modeling the NEPA process at the forest level. Pacific Northwest Research Station.
- McKetta, C.W., González-Cabán, A.** 1985. Economic costs of fire suppression forces. *Journal of Forestry* 83(7), 429-432.
- National Research Council,** 2009. *Science and decisions: Advancing risk assessment.* Washington, DC: The National Academies Press. p. 424.
- Pringle, P.** 2009. Station fire's strength was miscalculated. Los Angeles Times, September 27, 2009.

**Rodríguez y Silva, F. González-Cabán, A.** 2010. "SINAMI": A tool for the economic evaluation of forest fire management programs in Mediterranean ecosystems. *International Journal of Wildland Fire*, 19, 927-936.

# Proceso Estandarizado Para Generar Cartografía de Áreas Prioritarias Contra Incendios Forestales<sup>1</sup>

José German Flores Garnica<sup>2</sup>, Uri David Casillas Díaz<sup>3</sup>, Alejandra Macías Muro<sup>3</sup>

## Resumen

En el ámbito de trabajo de los sistemas de información geográfica (SIG) existen ciertas tareas que se hacen en forma repetitiva y en ocasiones resultan monótonas. Donde se requiere estructurar, integrar y analizar, una serie de información georreferenciada. Que, sin embargo, lleva siempre la misma secuencia. Por lo que en este trabajo se desarrolló un modelo secuencial, que permite automatizar ciertos procesos en la definición de áreas prioritarias contra incendios forestales. Para esto se usa la herramienta *Model Builder* (ArcGis), la cual se basa en un lenguaje de programación visual, que permite estructurar la secuencia de los procesos. Para ejemplificar esto, se utilizaron capas de información de tipo vectorial, que corresponden a las variables de los tres criterios riesgo, peligro y valor, tales como; localidades y vías de comunicación en áreas forestales, el registro histórico de incendios, los polígonos de terrenos incendiados, comportamiento del fuego en ecosistemas forestales, clasificación de ecosistemas, pendiente, exposición, precipitación, temperatura, sequía, regímenes de fuego, áreas naturales protegidas, áreas para la conservación de las aves, sitios RAMSAR, pagos por servicios ambientales, áreas terrestres prioritarias, localidades indígenas, grados de pobreza y el valor maderable. Como resultado se obtuvo el modelo secuencial de las áreas prioritarias contra incendios forestales con base al cual se generó el mapa donde se ubica y dimensionan dichas áreas de acuerdo a su clasificación (muy bajo, bajo, medio alto y muy alto). Se concluye que por lo tanto, es una herramienta práctica, que ahorra tiempo en los procesos y secuencias, además de evitar producir errores humanos cuando se trabaja en forma manual. Finalmente se señala que el modelo secuencia es útil para zonificar áreas de protección. Esta información es importante para apoyar la toma de decisiones en la definición de estrategias de manejo del fuego.

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este documento fue presentada en el Quinto Simposio Internacional sobre Economía, Planificación y Política de Incendios: Servicios de Incendios Forestales y Ecosistemas, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-CIRPAC). Jalisco, México. Email: flores.german@inifap.gob.mx

<sup>3</sup> Colaborador del Proyecto "Validación científica de la metodología de evaluación de áreas prioritarias de protección contra incendios forestales". Jalisco, México. Email: green\_5@hotmail.com

<sup>3</sup> Colaborador del Proyecto "Validación científica de la metodología de evaluación de áreas prioritarias de protección contra incendios forestales". Jalisco, México. Email: arboristale@gmail.com

*Palabras clave: SIG, Model Builder, ArcGis 10.1, Modelización*

## **Introducción**

México es un país mega diverso debido a la gran riqueza biológica de sus ecosistemas. Estos ecosistemas son considerados patrimonio nacional por lo tanto deben ser una prioridad de conservación (Comisión Nacional Forestal, 2013). Sin embargo, estos recursos se ven afectados por diversos factores, entre ellos los incendios forestales. En México se estima que cada año los incendios afectan en promedio 250,000 hectáreas de ecosistemas forestales. La mayoría de estos (98%) son provocados por el hombre, mientras que el resto lo son por fenómenos naturales (CONAFOR, 2013). Para atender la problemática de los incendios forestales se han implementado diversas estrategias, integradas bajo el concepto de manejo del fuego. En el cual, debido, a que los recursos humanos y económicos son limitados entre otros aspectos, deben definirse las áreas de atención prioritaria contra incendios forestales (Nolasco, 1993).

Para la definición de áreas prioritarias existen múltiples metodologías, las cuales consideran, generalmente, los criterios de riesgo, peligro y valor. Debido a que estos criterios involucran una elevada cantidad de variables, se hace necesario el uso de tecnologías que sean prácticas y aseguren una administración de datos georreferenciados y que optimicen el manejo y el análisis de la información geoespacial, como lo son los sistemas de información geográfica. De acuerdo a esto, el propósito de este trabajo, es el geo procesamiento para la generación de cartografía temática, sobre las áreas prioritarias contra incendios forestales. De tal forma que sirva para homogenizar procesos, y con ello hacer comparables y compatibles sus resultados generales, además de permitir el intercambio de información georreferenciada sobre el tema de áreas de protección contra incendios forestales. Además en el trabajo se presenta una innovación, que consiste en una aplicación generada que tendrá como objetivo la estandarización de la cartografía. Esta metodología apoyara los procesos de evaluación de áreas prioritarias contra incendios forestales.

## **Definición de Modelo**

Un modelo es una representación o conjunto real con cierto grado de precisión y en la forma más completa posible, pero sin pretender aportar una réplica de lo que existe en la realidad (FAO, 2016). Los modelos son útiles para describir, explicar o

comprender mejor la calidad, cuando es imposible trabajar directamente en la realidad en sí (FAO, 2016).

La utilización de modelos es muy común y son especialmente importantes en el uso de SIG, porque con ellos se pueden comprender el funcionamiento y estructuración de los datos espaciales (FAO, 2016). El modelo secuencial, también llamado “ciclo de vida clásico” o “modelo en cascada” sugiere un enfoque sistemático, en acciones sucesivas para el desarrollo del software que empieza con el establecimiento de requisitos y pasa a las fases de análisis, diseño, codificación, pruebas y mantenimiento (Flórez, 2009).

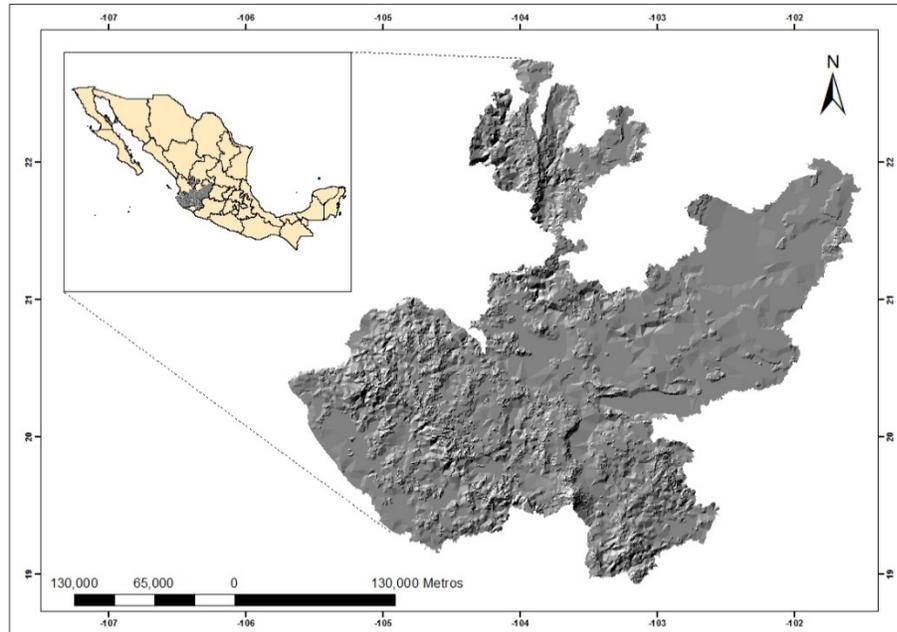
La herramienta “Model Builder” es una aplicación en ArcGis el cual se utiliza para la creación, edición y administración de modelos de manera automatizada. Consiste en un procesamiento de lenguaje de programación visual que crea flujos de trabajo (MappingGIS, 2016). Para Esri (2012) el Model Builder es una aplicación que crea, edita y administra datos. Además, son flujos de trabajo que encadenan la ejecución secuenciada de herramientas de geo procesamiento y suministran la interacción con otra herramienta complementaria. La aplicación puede resultar de gran utilidad cuando se necesita realizar tareas repetitivas y complejas (SIGnatura, 2014).

## **Materiales y Métodos**

### **Área de estudio**

El análisis se aplicó al estado de Jalisco, en el cual se encuentra situado entre las coordenadas geográficas de 101° 28' latitud norte y entre 105° 42' longitud oeste. Se localiza en la parte centro-occidente y presenta límites al noroeste con los estados de Nayarit, al norte con Zacatecas, Aguascalientes y San Luis Potosí, en el este con Guanajuato y al sur limita con el estado de Colima y Michoacán (*Fig. 1*). Debido a las diferentes elevaciones que hay en el estado de Jalisco, éste se encuentra a una altitud máxima de 4.260 metros sobre el nivel medio del mar. Su territorio se extiende a 80.386 kilómetros cuadrados (Municipios, 2016).

El estado forma parte de las provincias: Sierra Madre Occidental, Mesa del Centro y Eje Neo volcánico. Representa el 4.01% del territorio nacional (INEGI S/F). El clima es cálido subhúmedo con una temperatura media anual de 20.5 °C, la precipitación media anual es de 850 mm. La vegetación dominante son los bosques de coníferas y encinos; le siguen en importancia las selvas bajas caducifolia y mediana perennifolia (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal “Inafed”, 2016). También hay pastizales en la parte norte y noroeste (INEGI, 2016).



**Figura 1**– Área de estudio estado de Jalisco como prueba para generar cartografía estandarizada de zonas de protección contra incendios forestales.

### Análisis de Riesgo

Se refiere a estudio de las variables que propician el inicio de los incendios forestales tales como la presencia de zonas urbanas, actividades agropecuarias con uso del fuego, caminos o accesos cerca y dentro de las áreas de protección, entre otros (*Tabla 1*) (CONAFOR, 2010).

**Tabla 1**– Información utilizada para el criterio de riesgo de incendios forestales.

| CRITERIO | VARIABLE                           | FORMATO              | FUENTE  |
|----------|------------------------------------|----------------------|---------|
| RIESGO   | Localidad proximidad               | Vectorial, puntos    | INEGI   |
|          | Localidad número de habitantes     | Vectorial, puntos    | INEGI   |
|          | Vías proximidad                    | Vectorial, líneas    | INEGI   |
|          | Tipo de vía                        | Vectorial, líneas    | INEGI   |
|          | Ocurrencia de incendios proximidad | Vectorial, puntos    | CONAFOR |
|          | Ocurrencia de incendios causas     | Vectorial, puntos    | CONAFOR |
|          | Polígonos de terrenos incendiados  | Vectorial, Polígonos | CONAFOR |

## Análisis de Peligro

Se refiere al análisis de las variables ambientales, características de los combustibles y de las condiciones del terreno, que determinarán la posibilidad de que un incendio se propague (*Tabla 2*) (CONAFOR, 2010).

**Tabla 2– Información utilizada para el criterio de peligro de incendios forestales.**

| CRITERIO | VARIABLE  | FORMATO             | FUENTE                 |
|----------|---|---------------------|------------------------|
| PELIGRO  | Comportamiento y efecto del fuego en los ecosistemas    | Vectorial, polígono | INEGI                  |
|          | Clasificación de ecosistemas (sensibles, dependientes e | Vectorial, polígono | CONAFOR                |
|          | Pendiente   | Raster              | INEGI                  |
|          | Exposición  | Raster              | INEGI                  |
|          | Huracanes   | Vectorial, línea    | SMN                    |
|          | Temperatura media anual                                 | Vectorial, polígono | CONABIO                |
|          | Precipitación media anual                               | Vectorial, polígono | CONABIO                |
|          | Monitor de Sequía                                       | Vectorial, polígono | SMN                    |
|          | Regímenes de Fuego en ecosistemas forestales            | Vectorial, polígono | Jardel <i>otros.</i> , |

## Análisis de Valor

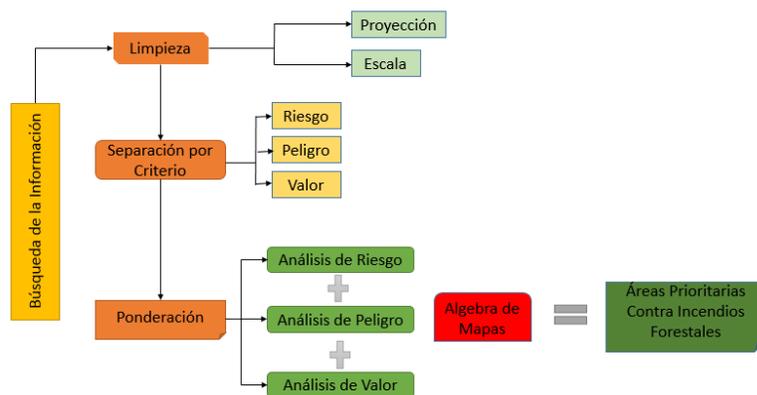
Se refiere a la valoración de los elementos que social, cultural y/o ecológicamente representan un interés de protección de los efectos ocasionados por la presencia de incendios forestales (*Tabla 3*) (CONAFOR, 2010).

**Tabla 3– Información utilizada para el criterio de valor de incendios forestales.**

| CRITERIO | VARIABLE   | FORMATO             | FUENTE  |
|----------|--|---------------------|---------|
| VALOR    | Áreas naturales protegidas                           | Vectorial, polígono | CONANP  |
|          | Área de importancia para la conservación de las aves | Vectorial, polígono | CONABIO |
|          | Sitios RAMSAR  | Vectorial, polígono | CONABIO |
|          | Zonas elegibles hidrológicas                         | Vectorial, polígono | CONAFOR |
|          | Zonas para la conservación de la biodiversidad       | Vectorial, polígono | CONAFOR |
|          | Áreas terrestres prioritarias                        | Vectorial, polígono | CONABIO |
|          | Comunidades indígenas                                | Vectorial, puntos   | CONABIO |
|          | Índice de desarrollo humano                          | Vectorial, polígono | CONABIO |
|          | Grados de pobreza                                    | Vectorial, polígono | CONABIO |
|          | Zonas de Atención Prioritaria                        | Vectorial, polígono | SEDESOL |
|          | Sistema Nacional Contra el Hambre                    | Vectorial, polígono | SEDESOL |
|          | Existencias reales de bosque natural                 | Vectorial, polígono | INEGI   |
|          | Valor maderable                                      | Vectorial, polígono | INEGI   |

## Procesamiento de la información

En este geo procesamiento se utilizaron los datos georreferenciados, antes mencionados, utilizando un sistema de información geográfica (ArcGis 10.1). Así mismo como herramienta para estandarizar dicha información, se empleó el modelo secuencial (Model Builder). Primeramente se realizó la búsqueda de la información vectorial y raster, a través de diferentes fuentes de información disponible y confiable que hay en el país y en la entidad. Posteriormente se realizó la limpieza de datos, esto con el fin de que a cada variable se le asignará el mismo sistema de coordenadas además el mismo tamaño de representación (escala), para que las variables se extrapolaran unas con otras. El tipo de proyección asignada para el estado de Jalisco le corresponde a la WGS84 zona 13 Norte, según el sistema de coordenadas UTM (métricas). Posteriormente, las variables se asignaron en el criterio al que le corresponde tales como; riesgo, peligro y valor, para después asignar los criterios de ponderación para cada una de las variables. Esto con el fin de obtener un valor en cada pixel poder efectuar operaciones aritméticas tales como la suma de capas (álgebra de mapas) (Fig. 2).



**Figura 2– Estructura del proceso para realizar un mapa de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales.**

Partiendo una serie de geo procesamientos para el “*análisis de riesgo*” de incendios forestales, se utilizaron herramientas que se asignan al modelo secuencial. Posteriormente se obtienen como resultados las capas en formato raster para cada de una de las variables. Esto con el fin de obtener valores en los pixeles y poder efectuar el cálculo del álgebra de mapas. Para el caso de riesgo de incendio forestal, se observa en la *Figura 3* el geo procesamiento establecido para dicho análisis. El geo proceso permitió estandarizar la herramientas con las que se trabajó para obtener el mapa de riesgo. Además es una aplicación práctica, donde los círculos (azules) son los parámetros o campos donde se asignan las variables, en este caso las de riesgo,



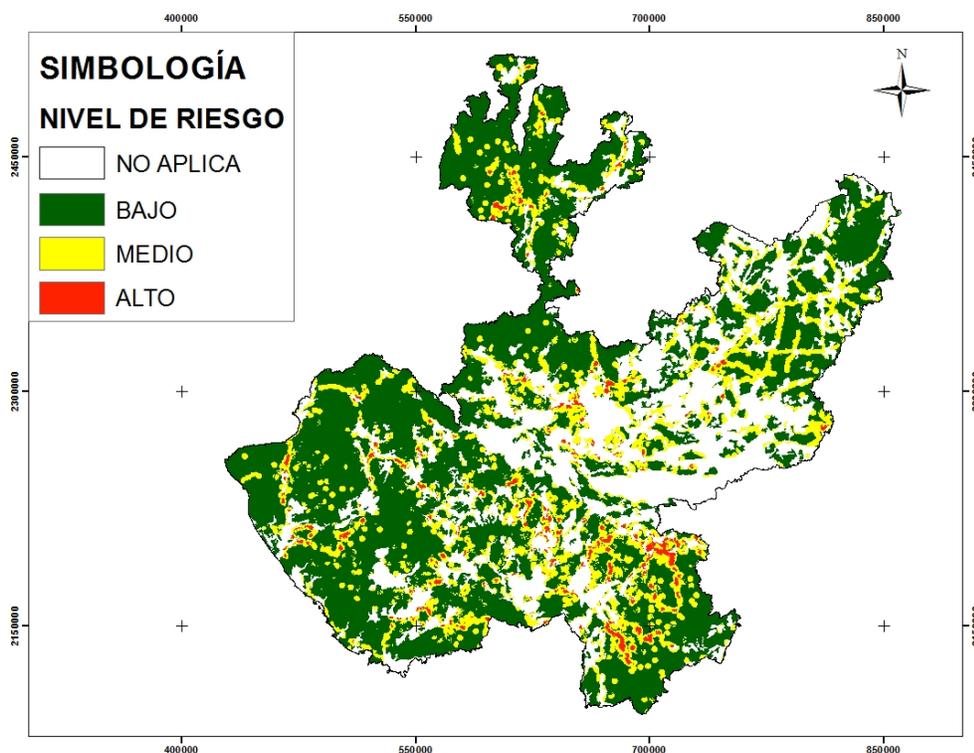


**Figura 4**– Estructura del modelo secuencial para generar procesos estandarizados para el análisis de peligro de incendio forestal.

Para el caso del “*análisis de valor o daño potencial*” se realiza un procedimiento similar al de riesgo y peligro, sin embargo, en este se emplean diferentes variables y métodos de herramientas. Utilizando la aplicación Model Builder, como objetivo principal permite automatizar los geos procesos y estandarizar la cartografía, donde finalmente se obtienen los resultados de las capas de información en formato raster de cada una de las variables, así mismo se aplica el cálculo del algebra de mapas, para finalmente obtener el mapa de valor de incendios forestales (Fig. 5).



Para determinar las tres categorías de análisis “*bajo, medio y alto*” se clasifica por medio de una operación aritmética, el cual consiste en una división. Donde la puntuación mínima obtenida fue de “0” y la máxima de “20”. En función de ello, se optó respetando las proporciones de la ponderación inicialmente otorgada, con lo cual se dividió esta calificación obtenida de manera proporcional para cada uno de los niveles, es decir, en tercios, con lo cual el nivel bajo de riesgo quedó con puntuaciones del 1 al 6; el nivel de riesgo medio se encuentra el rango del 7 al 12 y el nivel de riesgo alto del 13 al 20. Con ello se generó el mapa de riesgo de incendios forestales (*Fig. 6*).

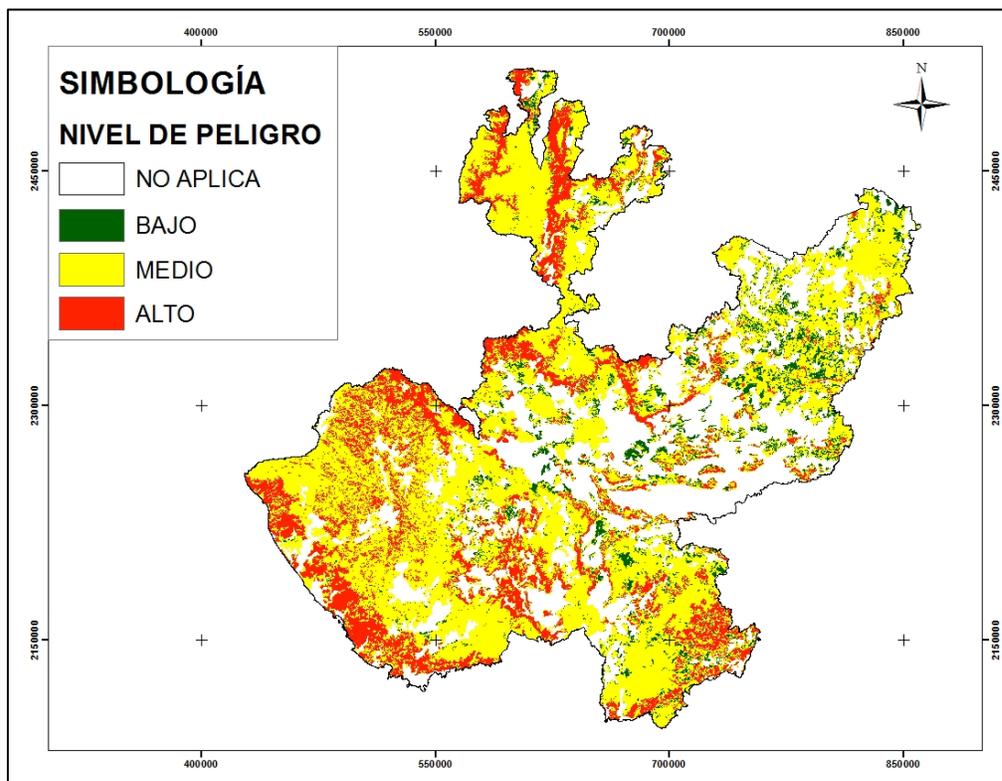


**Figura 6**– Riesgo de incendios forestales en el estado de Jalisco, con sus tres categorías de análisis “bajo, medio y alto”.

Después de analizar cada variable para el criterio de peligro de incendios, se efectuó la integración de total de estas. Con esto se obtuvo “*la cartografía temática de peligro*”. Es importante comprender cuales son todos los aspectos tomados en cuenta y como se manejan los distintos valores para cada una de las variables para el geo proceso de zonificación. Además es necesario determinar qué nivel de peligro representa cada variable. Por lo cual, se considera conveniente analizar a detalle cada

una ellas, con el fin de que las puntuaciones son otorgadas para la zonificación y en qué criterios fueron basadas.

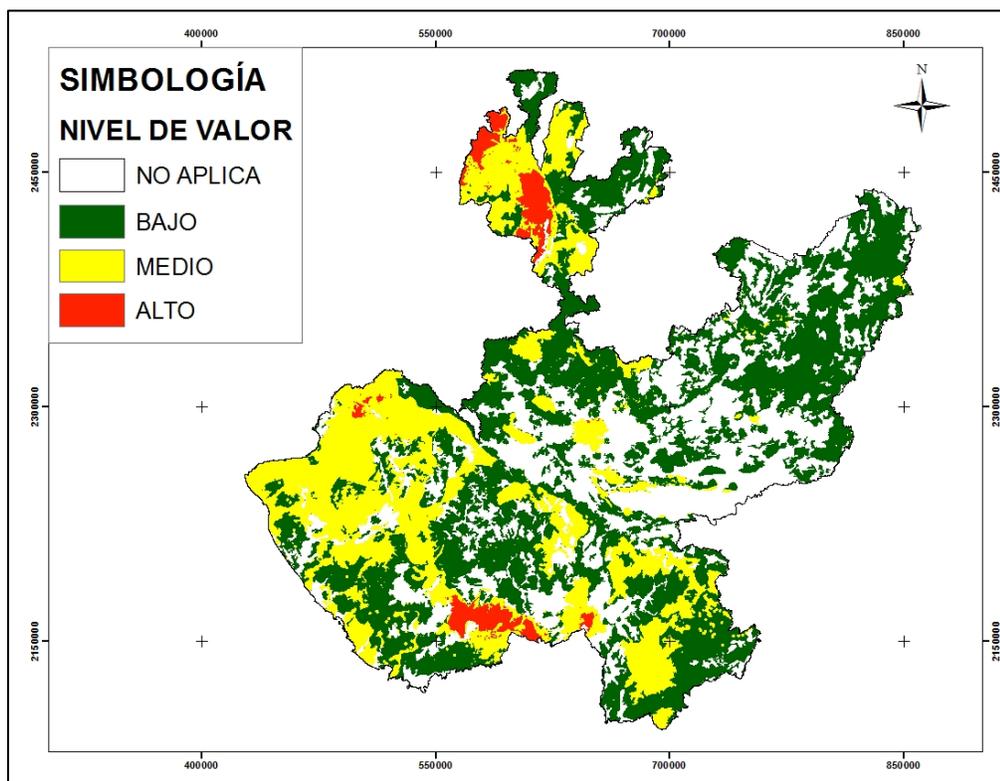
Para determinar las tres categorías de análisis “*bajo, medio y alto*” se clasifica por medio de una operación aritmética. Donde la puntuación mínima obtenida fue de “5” y la máxima de “29”. En función de ello, se optó respetando las proporciones de la ponderación inicialmente otorgada, con lo cual se dividió esta calificación obtenida de manera proporcional para cada uno de los niveles, es decir, en tercios, con lo cual el nivel bajo de riesgo quedó con puntuaciones del 5 al 13; el nivel de riesgo medio se encuentra el rango del 14 al 21 y el nivel de riesgo alto del 22 al 29. Con ello se generó el mapa de peligro de incendios forestales (Fig. 7).



**Figura 7**– Peligro de incendios forestales en el estado de Jalisco, con sus tres categorías de análisis “bajo, medio y alto”.

Al realizar la suma de las capas de información, con sus valores de ponderación para este análisis, se categorizan en tres diferentes tipos de grado, según el nivel que le corresponde. Para determinar las tres categorías de análisis “*bajo, medio y alto*” se clasifica por medio de una operación aritmética. Donde la puntuación mínima obtenida fue de “1” y la máxima de “24”. En función de ello, se optó respetando las proporciones de la ponderación inicialmente otorgada, con lo cual se dividió esta calificación obtenida de manera proporcional para cada uno de

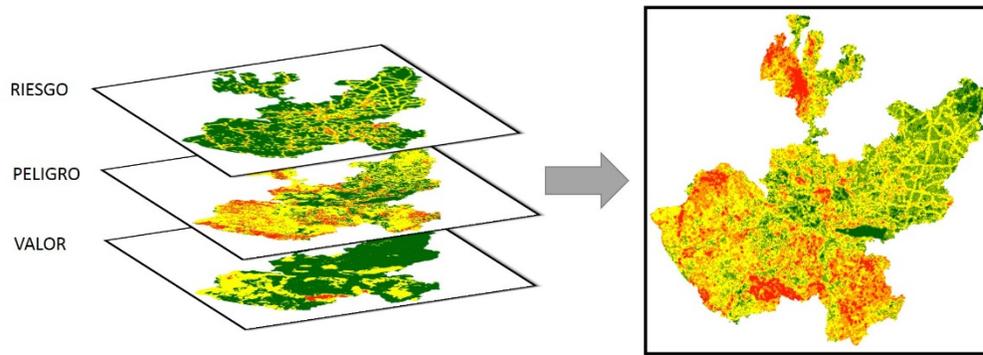
los niveles, es decir, en tercios, con lo cual el nivel bajo de riesgo quedó con puntuaciones del 1 al 8; el nivel de riesgo medio se encuentra el rango del 9 al 16 y el nivel de riesgo alto del 17 al 24. Con ello se generó “la cartografía temática de valor” de incendios forestales (Fig. 8).



**Figura 8**– Valor de incendios forestales en el estado de Jalisco, con sus tres categorías de análisis “bajo, medio y alto”.

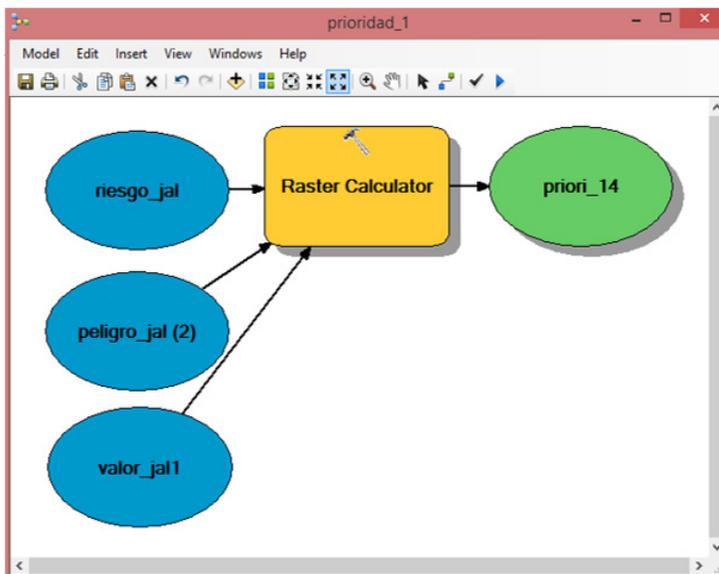
### **Cartografía temática de áreas prioritarias de protección contra incendios forestales**

La integración de los criterios de riesgo, peligro y valor, permite establecer áreas con prioridades de protección para el control de incendios forestales. El procedimiento consistió en asignar puntajes ponderados a cada una de los criterios. Estos puntajes se suman por medio del cálculo del álgebra de mapas, así mismo cada pixel contiene un valor de prioridad (Fig. 9).



**Figura 9**– Operación aritmética, para el caso de la suma de capas para los criterios de riesgo, peligro y valor, para establecer el mapa de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales.

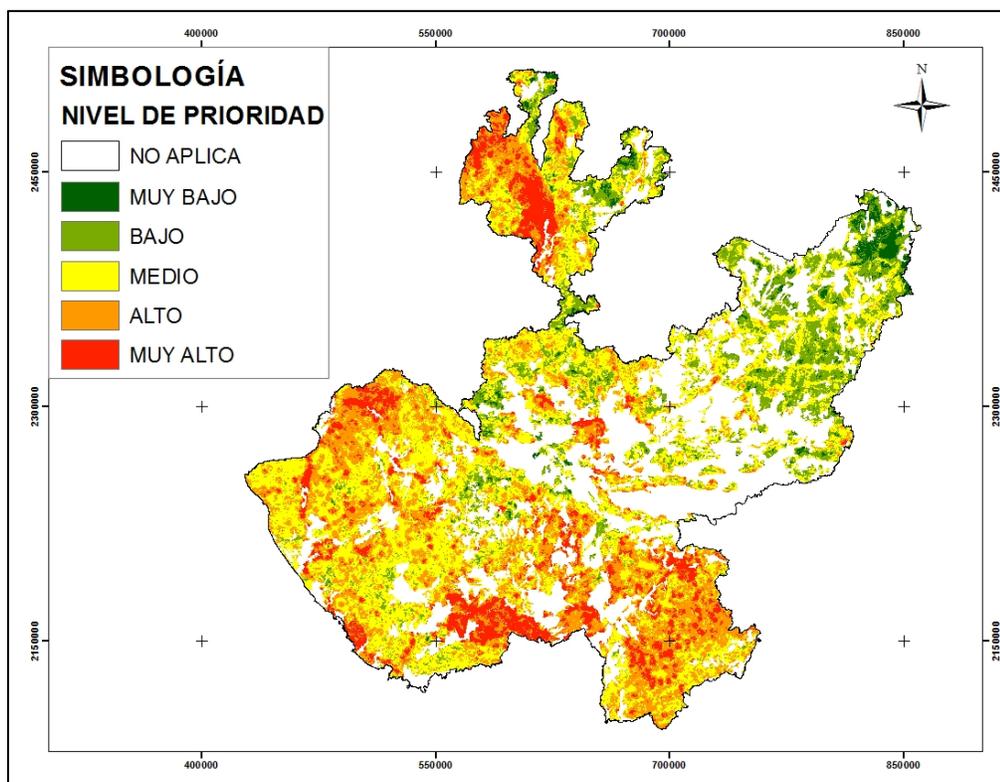
El modelo secuencial para el análisis de prioridad permite automatizar la herramienta “*Raster Calculator o Algebra de Mapas*” que se utilizó para generar la cartografía temática de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales (Fig. 10).



**Figura 10**– Estructura del modelo secuencial para generar procesos estandarizados para el análisis de prioridad contra incendios forestales.

Las áreas prioritarias contra incendios forestales, permiten evaluar la distribución espacial del problema originado por la ocurrencia y propagación de incendios forestales y proporcionan la base para la planificación de actividades de prevención y combate que se requiere implementar o reformular en un programa de protección (Nolasco, 1993). Se utilizó una clasificación de cinco categorías (muy

bajo, bajo, medio alto y muy alto). Lo anterior con la finalidad de que se determinen de manera más precisa las zonas a proteger (Fig. 11).



**Figura 11**– Áreas prioritarias contra incendios forestales en el estado de Jalisco, con sus respectivas categorías de análisis “muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto”.

## Conclusiones

Una de las principales ventajas en el uso de un modelo secuencial es la automatización de trabajos. En el cual permite a los usuarios no repetir las mismas herramientas con las que se encuentran trabajando. Es una aplicación clara y sencilla, ya que su entorno visual simplifica mucho la comprensión de los geo procesos que se llevan a cabo. Es una forma de entender cómo funcionan los geo procesos espaciales. Además no se necesita conocer algún lenguaje de programación como; Java, html, php, sql entre otros, ya que el entorno gráfico permite entender la estructura del modelo.

El uso de modelos compactos, permite no cometer errores al momento de ejecutar las herramientas. Además permite ahorrar tiempo y esfuerzo. También es posible conocer el tiempo en el que se ejecuta cada herramienta. Finalmente, el análisis de la cartografía temática aporta la base necesaria para diseñar, implementar,

organizar y aplicar en periodos futuros la mejor toma de decisiones en materia del manejo del fuego. Además permite utilizar los mapas como difusión en congresos y material didáctico en las universidades del país y en el extranjero.

## Referencias

- Comisión Nacional Forestal “CONAFOR”.** 2010. Procedimiento para elaboración de un mapa de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales. Gobierno Federal. México: 4.
- Comisión Nacional Forestal “CONAFOR”.** 2013. Incendios Forestales en México temporada 2013. Consultado el día 2 de septiembre del 2016. Página del Gobierno de la Republica.  
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/4339Campa%C3%B1a%20de%20contra%20incendios%202013.pdf>
- Environmental Systems Research Institute “ESRI”.** 2012. ¿Qué es Model Builder? Consultado el día 15 de septiembre del 2016. Disponible en:  
<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#na/009t0000000200000/>
- Environmental Systems Research Institute “ESRI”.** 2016. ARCGIS Pro. Consultado el día 15 de septiembre del 2016.
- Flórez, F. H. A.** 2009. Procesos de ingeniería de software. Universidad del Bosque de Bogotá, Colombia: 1.
- Food and Agriculture Organization “FAO”.** 2016. Modelo y su uso. Consultado el día 6 de septiembre del 2016. Disponible en:  
<http://www.fao.org/docrep/w7452s/w7452s01.htm>
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática “INEGI”.** S/F. Regiones naturales y biogeografías de México. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática: 347
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática “INEGI”.** 2016. Información por entidad. Consultado el día 14 de septiembre del 2016. Disponible en:  
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/yuc/territorio/relieve.aspx?tema=me&e=31>
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal “INAFED”.** 2016. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Consultado el día 4 de Agosto del 2016. Disponible en:  
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM14jalisco/mediofisico.html>.
- MappingGIS,** 2016. Model Builder o Phyton. Consultado el día 9 de septiembre del 2016. Disponible en: <http://mappinggis.com/2015/06/model-builder-o-python/>
- Municipios,** 2016. Municipios de Jalisco. Consultado el día 30 de septiembre de 2016. Disponible en: <http://www.municipios.mx/jalisco/>
- Nolasco, M. A.** 1993. La protección contra incendios forestales en el estado de Quintana Roo. Memoria de Experiencia profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad de Autónoma de Chapingo. Estado de México: 39.

**SIGNatura**, 2014. Model Builder Sextante (gvSIG, QGIS). Consultado el día 15 de septiembre del 2016. Disponible en:  
<https://signatura21.wordpress.com/2014/11/13/model-buildersextante-gvsig-qgis/>

# **La Experiencia de los Incentivos Forestales Como Herramienta en la Reducción del Impacto de los Incendios Forestales en Guatemala<sup>1</sup>**

**Mairon Méndez<sup>1</sup>, Byron Palacios<sup>2</sup>**

## **Resumen**

En 1996 se aprueba la Ley Foresta (Decreto 101-96) que da vida al Instituto Nacional de Bosques –INAB- como la entidad pública autónoma y descentralizada responsable de la administración forestal fuera de áreas protegidas. Conjuntamente con la Ley Forestal, el Estado de Guatemala a través del INAB, crea el Programa de Incentivos Forestales – PINFOR- para promover el establecimiento de plantaciones y manejo sostenible de los bosques. Dada las experiencias del PINFOR, y a las demandas de pequeños poseedores y de grupos comunitarios, en el 2007 a través de la cooperación del Reino de los Países Bajos, se crea el Programa de Incentivos Forestales para Pequeños Poseedores –PINPEP-, para promover reforestaciones, sistemas agroforestales y manejo de bosque natural. Dicho programa se institucionaliza en el 2010 a **través de la ley 51-2010.**

Estos programas, con la ejecución de más de 29,000 mil proyectos han contribuido al manejo y conservación de más de 430 mil hectáreas de bosque y plantaciones, con una inversión pública superior a \$290 millones, creado empleo comunitario y mejorando la economía a más de 900 mil personas; contribuyendo a la provisión de productos maderables y la provisión de servicios ecosistémicos como regulación hídrica, conectividad biológica, la reducción de gases de efecto invernadero, entre otros. Estos programas de incentivos son un claro ejemplo de un pago por resultados, en donde el instrumento de evaluación es el cumplimiento del plan de manejo forestal el cual contempla actividades de protección forestal.

Para dar cumplimiento a las actividades de protección forestal, aproximadamente un 25% del presupuesto del pago de los incentivos se destina a las actividades de protección contra incendios forestales. Estas inversiones en materia de protección forestal han impactado directamente en la reducción de siniestros dentro de las áreas bajo manejo. Estadísticas del INAB indican que menos del 1% de proyectos han sido afectados por incendios gracias al establecimiento y mantenimiento de más de 50 mil km de brechas corta fuego y al

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía sobre los Incendios Forestales: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras. Solo el resumen disponible.

<sup>2</sup> Departamento de Protección Forestal del Instituto Nacional de Bosques. Ciudad de Guatemala, Guatemala.

compromiso de los usuarios de los programas en las actividades de control de incendios forestales, creando así una cultura de responsabilidad en el uso y manejo del fuego.

# **Estrategia Latinoamericana de Fortalecimiento Académico para Manejo del Fuego<sup>1</sup>**

**Andrés Nájera Díaz<sup>2</sup>**

## **Resumen**

La perspectiva Centroamericana, incluyendo México, Dominicana, Colombia, Venezuela y Perú, principalmente, es de tendencia en corto plazo al aumento en registro del número de incendios forestales y de superficie afectada; asociado a esto, la evidente pérdida de unidades habitacionales, infraestructura y en casos extremos vidas humanas. De ahí la necesidad indudable, que la Protección contra Incendios Forestales y el Manejo del Fuego, sea asumida responsablemente y con bases académicas por los profesionales de las ciencias forestales y ciencias afines a nivel de Latinoamérica, lo que hace necesario la adopción y desarrollo de una Estrategia Latinoamericana de Fortalecimiento Académico para Manejo del Fuego 2017-2023 (ELFAMF); desafío que tiene como objetivo atender desde su origen la demanda; estableciendo planteamientos y acciones de capacitación y actualización de los docentes de universidades y centros de formación profesional, inclusión de las materias curriculares de Ecología y Efectos del Fuego, y Manejo del Fuego, elaboración de manuales didácticos del docente, estudiante y de prácticas de campo, establecimiento de unidades piloto permanentes de investigación, talleres y foros de actualización y resultados, convenios de colaboración conjunta para intercambio y movilidad docente y estudiantil, y programas de formación de profesores, principalmente. Los resultados de la estrategia generarán mayores intereses y derivaciones para la toma de decisiones en investigación, desarrollo, operación, economía y evaluación de los programas de protección contra incendios y manejo del fuego, por los profesionales forestales y afines, a nivel nacional, en áreas naturales protegidas, áreas con servicios ambientales, plantaciones, áreas en manejo forestal, áreas con manejo de vida silvestre, áreas de protección de cuencas y embalses, áreas con recursos culturales, áreas de recreación y unidades campestres, entre otras. Con acciones como estas, cada uno de los países estará atendiendo en el corto y mediano plazo con bases científicas y ecológicas, lo señalado en materia por su normatividad forestal vigente, y lo indicado en las Directrices sobre manejo de incendios forestales en los bosques templados y boreales (FAO 2002); las

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este documento fue presentada en el Quinto Simposio Internacional sobre Economía, Planificación y Política de Incendios: Servicios de Incendios Forestales y Ecosistemas, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Académico, Departamento Forestal-UAAAN. En año sabático en la Universidad Nacional de Ciencias Forestales UNACIFOR, Siguatepeque, Comayagua, Honduras.

Directrices de carácter voluntario para manejo del fuego (FAO 2007) y la Estrategia Regional de Manejo del Fuego para Centro América y Republica Dominicana 2015-2025 (CCAD, 2015).

Palabras clave: estrategia, fortalecimiento, docentes, inclusión curricular, materiales didácticos, unidades piloto, convenios, evaluación.

## **Introducción**

La perspectiva mundial en el corto plazo es al aumento de registro de incendios forestales y la superficie afectada; asociándolo a la evidente pérdida de infraestructuras, unidades habitacionales y pérdidas de vidas humanas.

Países latinoamericanos como México, Guatemala, Honduras, Colombia, El Salvador, República Dominicana, Perú, entre otros y muy pronto Panamá, actualmente están trabajando en la protección contra incendios forestales y manejo del fuego; lo anterior, debido principalmente a las emergencia relevantes registradas en los últimos años; situación que demanda la creación y desarrollo de su estrategia nacional de protección contra incendios forestales y manejo del fuego para ser atendida operativamente y de manera responsable y con bases académicas por los profesionales de la ciencias forestales y ciencias afines.

La ciencia, tecnología e investigación interdisciplinaria tienen como objetivo mejorar el conocimiento de los procesos complejos y las interacciones fuego-atmosfera-clima. Lo anterior, requiere de apoyos para establecer y continuar estas investigaciones y la interacción de estos campos, lo que es fundamental si la comunidad técnica dedicada y encargada de incendios y manejo del fuego quiere avanzar en los nuevos conocimientos, instrumentos y tecnologías (FAO, 2006).

La investigación y transferencia del conocimiento científico a través de la enseñanza vocacional universitaria, es fundamental para la como presión y puesta en práctica de un manejo de fuego avanzado. La educación pública es esencial, para la prevención de incendios y sobre todo para las acciones de manejo de fuego, como son, técnicas de quemas ecológicamente fiables y seguras (FAO, 2006).

Sin embargo, la condición actual en las universidades y centros educativos superiores en Latinoamérica que forman y producen los profesionales, no cuentan con docentes capacitados, ni materias curriculares sobre ecología y efectos del fuego, que proporcionan las bases para la materia de manejo del fuego, lo que permitiría a los egresados poder atender la demanda en materia protección contra incendios forestales y manejo del fuego en su país. Lo anterior, hace necesario la adopción, desarrollo y evaluación de una Estrategia Latinoamericana de Fortalecimiento Académico para Manejo del Fuego 2017-2023 (ELFAMF) considerando en común

de tiempo que son cinco años para una reforma curricular en las carreras universitarias. Desafío que asegura atender desde su origen la falta de conocimientos, prácticas y profesionalismo de los técnicos encardados de la implementación de las Estrategias Nacionales de Manejo del Fuego en cada uno de los países.

## **Marco de referencia**

### **Marco conceptual**

El manejo del fuego, es la disciplina dirigida a la utilización del fuego para lograr el manejo y objetivos de uso tradicional de la tierra junto con la protección de la vida, propiedades y recursos, mediante la prevención, detección, control, restricción y extinción del fuego en el bosque y otros tipos de vegetación en áreas rurales. Incluye incendios programados y los generados naturalmente, y comprende la investigación y la transferencia de tecnología (FAO, 2006).

Manejo integral del fuego, incluye la integración de la ciencia y la sociedad con las tecnologías de manejo del fuego en múltiples niveles. Considera un enfoque amplio y holístico para hacer frente a los asuntos relacionados con el fuego, tomando en cuenta las interacciones biológicas, ambientales, culturales, sociales, económicas y políticas (Kaufmann *et al.* 2003)

El término “integral” se ha usado para describir otros enfoques de manejo de recursos naturales, como “manejo integral del bosque” o “desarrollo integral de la comunidad”. Se considera que “integral” describe de manera concisa el estado de reunir sinérgicamente diversos conceptos y asuntos para producir resultados efectivos que no pueden lograrse solo por medio de la tecnología (Myers, 2006).

Se considera que en su fase inicial de aplicación del manejo de fuego, se explicaba con esa diferenciación, que la aplicación de estrategias y acciones de manejo de fuego, tendrían que considerar el escenario integral, por lo que el término “integral”, está inmerso en el manejo de fuego.

Protección contra Incendios Forestales, consiste en las estrategias y acciones de presupresión, la prevención que incluye educación, divulgación y predicción, la detección, combate, liquidación, rehabilitación y uso del fuego mediante quemas controladas, líneas negras y ensayos de quemas prescritas, que se realizan dentro de programa nacional (Nájera, 2016).

Manejo del Fuego, considera el desarrollo, monitoreo y evaluación de las estrategias y acciones que se realizan en el Programa de Protección contra Incendios Forestales, incluyendo las estrategias y acciones de uso del fuego como una herramienta ecológica de manejo, la investigación en ecología y efectos del fuego,

en el contexto de beneficios y daños, el entorno socioeconómico y cultural de la sociedad (Nájera, 2016).

Lo anterior considerando que nos encontramos en la etapa de transición de la supresión de los incendios forestales a manejo del fuego.

## Marco institucional

De manera general todos los países cuentan institucionalmente o a nivel de ministerio con una agencia que incluye el sector forestal, de conservación y fomento, de los recursos naturales, que es la responsable de normar, operar y atender la protección contra incendios forestales y manejo del fuego en cada país. Sin embargo, también existe de manera general una delegación de esta función a los Cuerpos de Bomberos, Fuerzas Armadas y Áreas Naturales Protegidas, principalmente; instituciones y agencias que fueron creadas con otra misión y responsabilidad primordial. Sin embargo, es aquí donde generalmente los profesionales egresados instituciones educativas y que laboran como funcionarios públicos en la atención de los incendios forestales y manejo del fuego, desde su formación curricular, generalmente no cuentan con las bases principales de conocimiento y prácticas para atender lo relacionado a su institución en materia de manejo del fuego.

## Marco político y jurídico

En los últimos años los países de Latinoamérica están incluyendo en su política nacional el combate de incendios forestales, algunos de ellos presentan y están en proceso de elaboración de su Estrategia Nacional para la Protección contra Incendios Forestales y Manejo del Fuego, proceso que marca una transición del combate de incendios al manejo del fuego.

Lo que representa una debilidad, ya que no se cuenta con el soporte económico significativo a los programas nacionales de protección contra incendios y manejo del fuego de Centroamérica y República Dominicana (CCAD, 2015).

Actualmente se cuenta con la Estrategia Regional de Manejo del Fuego para Centro América y República Dominicana 2015-2025, que señala las líneas estratégicas, objetivos, componentes, acciones y actividades a realizar en manejo del fuego (CCAD, 2015).

Generalmente los países latinoamericanos cuentan de manera vigente con una Ley Forestal y su Reglamento, o con una Ley Forestal y de Fauna Silvestre o y de Áreas Naturales Protegidas, Ley de Conservación y Fomento de los Recursos Naturales, y en casos particulares la normatividad esta complementa con Normas Oficiales; en las cuales señalan quien es el responsable de normar, coordinar, operar y evaluar la protección contra incendios forestales y manejo del fuego.

## **Antecedentes**

Desde finales de los años 80's México inicio en el marco del Memorándum de Entendimiento entre Estados Unidos y México, a través de la coordinación con el Servicio Forestal (USDA FS) y la entonces Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) una serie líneas y acciones de asistencia técnica y capacitación en materia de protección contra incendios forestales, en la que participan personal técnico de otros países de Latinoamérica; situación que aún está vigente, con la adecuaciones y fortalecimiento hacia el manejo del fuego.

En Centroamérica con el liderazgo y apoyo de México, en los años 90's, la Republica de Guatemala funciono como lugar sede de la capacitación y entrenamiento de los países de Centroamérica en los cursos mesoamericanos de Protección contra Incendios Forestales (ICF- CONAFOR- USDA FS- USAID, 2014).

Actualmente Guatemala y Honduras cuentan con un proceso de asistencia técnica y capacitación en materia de protección contra incendios forestales y manejo de fuego, avanzando en la formación de su equipo nacional de instructores y centros de control de incendios forestales, principalmente. Por su parte, Colombia, Perú, República Dominicana y posiblemente Panamá, inicien el proceso de asesoría del USFS para desarrollar su Estrategia Nacional de Manejo de Fuego. Siendo conveniente considerar el desarrollo comunitario, el uso tradicional del fuego y su relación con las causas de los incendios para atender las necesidades y dar asistencia técnica y respaldos normativos para la aplicación del fuego, conduciendo a las nuevas generaciones campesinas hacia el manejo del fuego.

## **Justificación**

Es relevante mencionar, que las acciones emprendidas en México y los demás países latinoamericanos, como parte de las estrategias, líneas y acciones realizadas en la protección contra incendios forestales y manejo del fuego, no se cuenta con la consideración del fortalecimiento académico de los docentes que imparten tópicos relacionados con las materias; razón por la cual se hace necesario el desarrollo y adopción de una "Estrategia Latinoamericana de Fortalecimiento Académico para Manejo del Fuego" 2017-2023 (ELFAMF); desafío que tiene como objetivo atender desde su origen la demanda; estableciendo planteamientos y acciones de capacitación y actualización de los docentes de universidades y centros de formación profesional, inclusión de las materias curriculares de Ecología y Efectos del Fuego, y Manejo del Fuego, elaboración de manuales didácticos del docente, del estudiante y de prácticas de campo, establecimiento de "unidades piloto" permanentes de investigación, talleres y foros de actualización y resultados, establecimiento de convenios de colaboración conjunta entre universidades y centros de formación para la vinculación,

intercambio y movilidad docente y estudiantil, y programas de formación de profesores, principalmente.

Los resultados de la estrategia generarán bases científicas y derivaciones para la toma de decisiones en investigación, desarrollo, operación, economía y evaluación de los programas de manejo del fuego, por los profesionales forestales y afines, a nivel nacional, en áreas naturales protegidas, áreas, áreas con servicios ambientales, plantaciones, áreas en manejo forestal, áreas con manejo de vida silvestre, áreas de protección de cuencas y embalses, áreas con recursos culturales, áreas de recreación y unidades campestres, entre otras. Con acciones como estas, cada uno de los países estará atendiendo en el corto y mediano plazo con bases científicas y ecológicas, lo señalado en la materia por su normatividad forestal vigente, y lo indicado en las Directrices sobre manejo de incendios forestales en los bosques templados y boreales (FAO 2002); las Directrices de carácter voluntario para manejo del fuego (FAO 2007) y la Estrategia Regional de Manejo del Fuego para Centro América y República Dominicana 2015-2025 (CCAD 2015).

## **Marco estratégico**

### **Visión**

Atender y desarrollar en Latinoamérica las políticas, normatividad y estrategias nacionales de manejo del fuego, desde la docencia y formación de profesionales forestales y de las ciencias afines.

### **Misión**

Fortalecer el manejo del fuego a nivel Latinoamérica, mediante estrategias y acciones de apoyo docente y de formación curricular para garantizar un óptimo desempeño profesional para la protección, conservación, manejo y fomento de recursos naturales y vida silvestre, en el marco del desarrollo comunitario y de la sociedad.

### **Objetivo general**

Implementar estrategias, líneas y acciones de fortalecimiento docente y de formación curricular en ecología y manejo del fuego para el desarrollo, operación, investigación y evaluación de la estrategia nacional de manejo del fuego.

## **Objetivos específicos**

Socialización e implementación de la “Estrategia Latinoamericana de Fortalecimiento Académico para Manejo del Fuego” 2017-2023 (ELFAMF).

Fortalecer el personal docente institucional que imparte las materias relacionadas con incendios forestales y manejo de fuego, incluyéndolos en programas de capacitación y actualización que se realizan en el sistema de escalonamiento y calificación de experiencia en manejo del fuego en cada país.

Establecer en el desarrollo curricular de carreras de ingeniería forestal y ciencias afines, materias obligatorias de Ecología y Efectos del Fuego y de Manejo del Fuego, preferentemente en los últimos semestres.

Desarrollar materiales didácticos como manuales del docente, para el estudiante, de prácticas de campo y presentaciones de cátedra en materia de ecología y efectos del fuego, y manejo del fuego.

Instituir el establecimiento de unidades “piloto” de investigación permanente con diferentes objetivos de manejo, en ecología y evaluación los efectos del fuego en ecosistemas mantenidos por el fuego y áreas naturales protegidas.

Formalizar la realización de foros y talleres nacionales e internacionales de actualización y de presentación de avances y resultados de la estrategia.

Gestionar y consolidar la firma de convenios de colaboración conjunta entre universidades y centros de formación profesional nacional e internacional para realizar intercambio y movilidad de docentes y educandos.

Realizar el monitoreo y la evaluación de la estrategia para medir el nivel de avance de resultados y el cumplimiento de los objetivos establecidos, ajustando las acciones establecidas para cumplir con la misión y visión propuesta.

## **Líneas estratégicas**

### **Implementación de la estrategia**

#### **Acciones**

Tramitar la adhesión de la ELFAMF en las actividades de capacitación y asistencia técnica que realiza el USFS IP en el país actualmente.

Oficializar la anuencia del USFS IP y el gobierno nacional para el desarrollo de la ELFAMF de manera conjunta y en coordinación.

Adecuar y reproducir la ELFAMF para su socialización en las instituciones educativas y países con los que trabaja USFS IP para su implementación.

Elaboración y aprobación del plan operativo anual por institución y por país para ejecución de la ELFAMF.

## Capacitación de docentes

### Acciones

Gestionar la universidad o centro educativo ante la agencia responsable de realizar las capacitaciones en manejo del fuego en cada país, la asignación de 1 a 2 lugares para asistencia del docente y auxiliar.

Asistir y aprobar los cursos que imparten USFS IP y el gobierno nacional de manejo de fuego y sistema de mando de incidentes (SMI), comportamiento del fuego y quemas prescritas en los niveles básico, intermedio y avanzado.

Mantener coordinación con la agencia responsable de atender los incendios forestales y realización de quemas prescritas en cada país y asistir a las acciones de combate y de aplicación de técnicas de ignición para adquirir experiencia práctica.

Mantener la buena salud y el acondicionamiento físico, necesario para realizar las arduas tareas de manera segura en materia de incendios y manejo de fuego.

## Desarrollo curricular

### Acciones

Generar en tiempo y forma los respaldo, justificación y programas analíticos para incluir en la curricula las materia de ecología y efectos del fuego y de manejo del fuego e iniciar los trámites correspondientes.

Gestionar ante la dirección académica o vicerrectoría académica de su institución educativa, incluir como materias obligatorias en las carreras de ingeniería forestal o ciencias afines, las materias de ecología y efectos del fuego y de manejo del fuego.

Considerar el semestre enero-junio para impartir ecología y efectos del fuego y el semestre julio-diciembre para manejo del fuego, coincidiendo con la normatividad e informar la aprobación de las dos materias en la curricula, semestres finales y las carreras profesionales que consideran impartirlas.

## Materiales didacticos

### Acciones

Elaborar y reproducir los materiales didácticos como el manual del docente, manual del estudiante y manual de prácticas de campo de las materias de ecología y efectos del fuego y de manejo del fuego.

Diseñar las presentaciones en PowerPoint de las dos cátedras para su utilización con proyector de multimedia, combinando materiales en DVD interactivos para reforzar las cátedras.

Establecer un área de prácticas de campo, evaluación de combustibles, realización de ensayos de ignición y aplicación de estudios de caso.

Gestionar la adquisición de prendas de protección personal, herramienta manual, materiales y equipos que se utilizan para el combate de incendios y realización de ensayos de quemas prescritas.

## Unidades piloto

### **Acciones**

Desarrollar líneas de investigación y objetivos específicos en diferentes ecosistemas, priorizando las áreas naturales protegidas, plantaciones comerciales y áreas con servicios ambientales.

Establecimiento en diferentes ecosistemas de unidades “piloto” de investigación sobre ecología del fuego con diferentes objetivos de manejo conservación, fomento y protección.

Realizar monitoreo y evaluación en las unidades “piloto” sobre los efectos del fuego en plagas, plantas, bosques, pastizales, matorrales, suelo, agua, aire, fauna silvestre, recursos culturales, entre otros.

Establecimiento de unidades “piloto” de desarrollo comunitario para dar atención y seguimiento a las causas de incendio, asistencia técnica para los usos tradicionales del fuego y la adopción de actividades comunitarias de protección contra incendios y manejo del fuego.

Instituir un proyecto universitario de investigación o desarrollo comunitario para obtener fondos y recursos necesarios para la investigación y/o desarrollo comunitario de manejo del fuego; en el cual se constituye el Equipo de Manejo de Combustibles Forestales de la Institución, integrado por alumnos y con la coordinación de docentes.

## Foros y talleres

### **Acciones**

Gestionar y fundamentar la realización de Foros nacionales e internacionales en coordinación con el gobierno nacional para analizar, presentar avances y resultados de las acciones realizadas en cada país y compartir experiencias con otros países.

Gestionar y fundamentar el desarrollo de Talleres nacionales e internacionales en coordinación con el gobierno nacional para capacitación y actualización en materia de ecología y efectos del fuego y manejo del fuego.

## Convenios y acuerdo

### **Acciones**

Formalizar la gestión y firma de convenios interinstitucionales de colaboración conjunta entre universidades y centros superiores de educación a nivel nacional e

internacional, priorizando acciones de protección contra incendios forestales y manejo del fuego.

Desarrollar en el marco de convenios, acuerdos de intercambio y movilidad docente y de estudiantes, prevaleciendo actividades de investigación sobre ecología y efectos del fuego y de manejo del fuego.

Fortalecer la vinculación internacional en materia de manejo del fuego con diferentes países en docencia, investigación y desarrollo comunitario.

## Monitoreo y evaluación

### Acciones

Programar y realizar el monitoreo y evaluación de la estrategia, midiendo el avance de resultados y cumplimiento de objetivos para consumir la misión y visión de la ELFAMF.

Constituir y funcionar el Equipo Nacional Docente de Manejo de Fuego (ENDMF) en cada país para realizar la evaluación de la estrategia en base al plan anual propuesto por cada institución.

Nombrar un Coordinador Internacional Docente de Manejo del Fuego (CIDMF) para fortalecer la organización logística y evaluación de las acciones a realizar como parte de la ELFAMF.

La gestión de Recursos Económicos para la implementación de la ELFAMF, cada universidad o centro de educación superior programará de acuerdo a su plan de anual de acciones y concertará contribuciones con los gobiernos nacionales y las agencias internacionales apoyos para la participación, investigación e intercambio de experiencias; debiendo informar de los resultados. Implementar, oficializar y adoptar el desarrollo de la ELFAMF en una primer etapa en los países de Belice, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá y República Dominicana.

## Implementación de la estrategia

La puesta en marcha de la Estrategia Latinoamericana de Fortalecimiento Académico para Manejo del Fuego (ELFAMF) 2017-2023, encuentra su núcleo de desarrollo integral en el programa de apoyo de capacitación y asistencia técnica que proporciona el Servicio Forestal de los Estado Unidos de Norteamérica (USFS) en los países de México, Honduras y Guatemala, principalmente; donde las Universidad y/o Centros de Estudios Superiores de cada país, establecerá contacto y gestionará con la Agencia Nacional encargada de realizar la capacitación en materia de manejo del fuego, que para el caso y orden son: la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR-México), Instituto Nacional de Conservación Forestal y Vida Silvestre (ICF-Honduras) y el Instituto Nacional de Bosques (INAB-Guatemala); la asignación de

al menos dos lugares para asistir a los curso de capacitación en el esquema de la NWCG de manejo del fuego se estén realizando en el país; también es conveniente gestionar ante la oficina nacional de USFS Proyectos Internacionales, la consideración de los docentes en los eventos de capacitación que se realizan en coordinación con los gobiernos nacionales.

Las universidades y/o centros de estudios superiores de cada país, gestionaran recursos internos y externos, mediante la realización de proyectos nacionales e internacionales para fortalecer la contra parte de la ELFAMF; y realizar la capacitación docente, ejecutar el desarrollo curricular incluyendo materias obligatorias, generar materiales didácticos, establecer unidades “piloto” de investigación y para desarrollo comunitario, constituir el equipo de manejo de combustibles institucional, coordinar y ser sede de foros y talleres de evaluación y actualización, gestionar la firma y desarrollo de convenios de colaboración conjunta nacionales e internacionales, y deberán coordinarse con las institucional nacionales y agencias internacionales para llevar acabo y ser sedes para la evaluación anual de la ELFAMF en cada país.

Cada universidad y/o centro de estudios superiores, deberá realizar su programa operativo anual de actividades y rendir un informe de actividades, resultados, y avances, haciéndolo llegar a los representantes del Equipo Nacional Docente de Manejo de Fuego (ENDMF) y Coordinador Internacional Docente de Manejo del Fuego (CIDMF), quien a su vez informara a las instituciones de los gobiernos nacionales y a las agencias de cooperación internacional.

Con los avances y resultados de la ELFAMF en cada país, se avala un fortalecimiento, mejora y crecimiento profesional teórico-práctico que garantiza la conducción de la estrategia nacional de manejo de fuego, por los profesionales forestales y de ciencias afines que son funcionarios y encargados de la seguridad del personal, de acciones normativas, operativas, del desarrollo comunitario y de la evaluación en manejo de fuego.

La demanda de elaboración, desarrollo y evaluación de Planes de Manejo del Fuego para reforzar los Programas de Manejo de las áreas naturales protegidas, áreas con servicios ambientales, plantaciones comerciales, áreas en manejo forestal, áreas con manejo de vida silvestre, áreas de protección de cuencas y embalses, áreas con recursos culturales, áreas de recreación y unidades campestres, entre otras; hace necesario y fundamental la investigación, el desarrollo comunitario y su evaluación económica y operativa; líneas estrategias y acciones que están consideradas dentro de la ELFAMF.

## Plan de acción de la estrategia latinoamericana de fortalecimiento académico para manejo del fuego

**Línea estratégica:** Aprobación de la estrategia.  
**Objetivo:** Aprobación, socialización e implementación de la “Estrategia Latinoamericana de Fortalecimiento Académico para Manejo del Fuego”  
**Componente:** Gestión y aprobación.

| Acción   | Actividad   | Indicador                              | Meta                           | Responsable                  | Recursos | Año  |      |      |      |      |      |      |
|--|---|--|--------------------------------|------------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
|  |   |  |                                |                              |          | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Implementar la Estrategia Latinoamericana de Fortalecimiento Académico de Manejo de Fuego (ELFAMF) | Anuencia de del USFS IP para el desarrollo de la ELFAMF.            | Adhesión a las actividades del USFS IP | Oficio propuesta por país      | Institución nacional y CIDMF | NA       | X    |      |      |      |      |      |      |
|  | Reproducción digital e impresa de la ELFAMF.                        | Publicaciones                          | Documento por país             | Institución nacional y CIDMF | NA       | X    |      |      |      |      |      |      |
|  | Efectuar la socialización de la ELFAMF.                             | Eventos                                | Dos Evento por país.           | Institución nacional y CIDMF | NA       | X    |      |      |      |      |      |      |
|  | Elaboración de plan operativo anual por cada institución educativa. | Planes                                 | Plan por institución por país. | Institución nacional y CIDMF | NA       | X    | X    | X    | X    | X    | X    | X    |
|  | Oficialización de planes operativos anuales.                        | Aprobación                             | Oficio respuesta por país.     | Institución nacional y CIDMF | NA       | X    | X    | X    | X    | X    | X    | X    |
|  |   |  |                                |                              |          |      |      |      |      |      |      |      |

**Figura 1** - Línea estratégica: aprobación de la estrategia. Aprobación, socialización e implementación de la ELFAMF

**Línea estratégica:** Capacitación de docentes.  
**Objetivo:** Fortalecer el personal docente institucional que imparte las materias relacionadas con incendios forestales y manejo del fuego.  
**Componente:** Gestión y fortalecimiento.

| Acción   | Actividad   | Indicador   | Meta                                     | Responsable                               | Recursos | Año  |      |      |      |      |      |      |
|--|---|---|--|---|----------|------|------|------|------|------|------|------|
|  |   |   |  |   |          | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Fortalecer el personal docente institucional que imparte las materias de incendios forestales y manejo del fuego, incluyéndolos en programas de capacitación que se realizan en el esquema escalonado de capacitación y calificación de experiencia que utilizan otros países, | Gestionar la asignación de lugares ante el responsable de la capacitación en manejo del fuego en cada país. | Aceptación de participación en los cursos del USFS IP | Oficio propuesta por país                | Institución educativa por país y CIDMF    | NA       | X    |      |      |      |      |      |      |
|  | Aprobar los cursos de manejo del fuego en niveles básico, intermedio y avanzado.                            | Asistencia y Aprobación de cursos.                    | Cursos aprobados                         | Docente por Institución educativa y CIDMF | NA       | X    |      |      |      |      |      |      |
|  | Coordinarse con la agencia responsable de atender los incendios forestales y participar.                    | Eventos asistidos                                     | Dos Evento anuales por docente por país. | Docente por Institución educativa y CIDMF | NA       | X    |      |      |      |      |      |      |
| Mantener buena salud y el acondicionamiento físico requerido.  | Certificado y prueba  | Prueba anual  | Docente por institución y CIDMF          | NA  | X        | X    | X    | X    | X    | X    | X    | X    |

**Figura 2 - Línea estratégica:** capacitación de docentes. Fortalecer el personal docente institucional que imparte las materias de incendios y manejo del fuego

**Línea estratégica:** Desarrollo curricular y materiales didácticos.

**Objetivo:**

Incluir en desarrollo curricular de carreras de ingeniería forestal y ciencias afines, materias obligatorias de ecología y efectos del fuego y de manejo del fuego. Desarrollar materiales didácticos, manual docente, estudiante, prácticas de campo y presentaciones de materias de ecología y efectos del fuego, y manejo del fuego

**Componente:** Gestión, aprobación y materiales didácticos.

| Acción  | Actividad   | Indicador              | Meta                    | Responsable                         | Recursos | Año  |      |      |      |      |      |      |
|---|---|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
|   |   |                        |                         |                                     |          | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Respalda y gestiona ante la dirección académica o vicerrectoría de cada institución educativa en cada país el incluir en la curricula las materias obligatorias de Ecología y Efectos del Fuego y de Manejo de Fuego. | Justificar y aprobación de los programas analíticos de ambas materias en curricula del ingeniero forestal y carreras afines | Aprobación de materias | 2 materias obligatorias | Cada institución superior por país. | NA       | X    | X    | X    | X    | X    | X    | X    |
| Elabora y reproduce materiales didácticos de las materias Ecología y Efectos del Fuego y de Manejo de Fuego.  | Diseñar manuales del docente, estudiante, prácticas de campo y presentaciones.  | Manuales               | 3 manuales por materia. | Cada Institución superior por país. | NA       | X    | X    | X    | X    | X    | X    | X    |

**Figura 3** - Línea estratégica: desarrollo curricular y materiales didácticos. Incluir en desarrollo curricular las materias obligatorias de ecología y efectos del fuego y de manejo del fuego, y desarrollar materiales los didácticos.

**Línea estratégica:** Establecimiento de unidades “piloto” y realización de foros - talleres.

**Objetivo:**

Instituir el establecimiento de unidades “piloto” de investigación permanente con diferentes objetivos de manejo, en ecología y evaluación los efectos del fuego. Formalizar la realización de foros y talleres nacionales e internacionales de actualización y de presentación de avances.

**Componente:** Gestión de unidades “piloto”, foros y talleres.

| Acción   | Actividad   | Indicador        | Meta                              | Responsable                  | Recursos                       | Año  |      |      |      |      |      |      |
|--|---|------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|  |   |                  |                                   |                              |                                | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Establecer de unidades “piloto” de investigación permanente con diferentes objetivos de Ecología y Efectos del Fuego y de Manejo de Fuego. | Concertar con dueños poseedores permiso para el establecimiento de unidades “piloto”. | Unidad “piloto”  | 3 unidades piloto por institución | Institución nacional y CIDMF | NA                             | X    | X    | X    | X    | X    | X    | X    |
| Desarrollar foros y talleres nacionales e internacionales de actualización y avances de la ELFAMF.   | Diseñar manuales del docente, estudiante, prácticas de campo y presentaciones.        | Foros y talleres | 1 foro y 3 talleres por país.     | Institución nacional y CIDMF | Institución nacional y USFS IP | X    | X    | X    | X    | X    | X    | X    |

**Figura 4** - Línea estratégica: Establecimiento de unidades “piloto” y realización de foros. Establecimiento de unidades “piloto” de investigación permanente y realizar foros y talleres nacionales e internacionales.

**Línea estratégica:** Convenios y evaluación de la ELFAMF.

**Objetivo:**

Gestionar firma de convenios de colaboración conjunta entre universidades y centros de formación profesional nacional e internacional. Realizar evaluación de avances y cumplimiento de objetivos de la estrategia para cumplir con la misión y visión propuesta.

**Componente:** Gestión de convenios y evaluación de la ELFAMF

| Acción  | Actividad  | Indicador            | Meta  | Responsable                         | Recursos                       | Año  |      |      |      |      |      |      |
|---|--|----------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|   |  |                      |   |                                     |                                | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Firma de convenios de colaboración conjunta entre instituciones de educación superior nacional e internacional. | Concertar la firma y desarrollo de convenios de colaboración.                  | Convenios            | 2 convenios, nacional e internacional por institución | Cada Institución superior por país. | NA                             | X    | X    | X    | X    | X    | X    | X    |
| Realizar eventos de evaluación de avances, resultados y cumplimientos de objetivos de la ELFAMF.                | Gestionar la realización de eventos de evaluación y cumplimiento de la ELFAMF. | Evento de evaluación | 1 evento anual por país                               | Institución nacional y CIDMF        | Institución nacional y USFS IP | X    | X    | X    | X    | X    | X    | X    |

**Figura 5 -** Línea estratégica: Convenios y evaluación de la ELFAMF. Firma de convenios entre universidades y realizar evaluación de avances y cumplimiento.

## **Referencias**

- CCAD.** 2015. Estrategia de manejo del fuego para Centro América y República Dominicana 2015 - 2025. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. Grupo Técnico de Bosques. Grupo Centroamericano y República Dominicana de Manejo del Fuego. San Salvador, El Salvador; 70p.
- FAO.** 2007. Manejo del Fuego, Principios y acciones estratégicas, directrices de carácter voluntario para el manejo del fuego; documento de trabajo sobre el Manejo del Fuego. N°17. Roma, Italia. 83p.
- ICF-CONFOR-US FS-USAID.** 2014. Curso internacional de protección contra incendios forestales en Honduras. Instituto Nacional de Conservación Forestal, Áreas Naturales Protegidas y Vida silvestre. Comisión Nacional Forestal. Servicio Forestal de Los Estados Unidos de Norteamérica. Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos de Norteamérica. Escuela Agrícola el Zamorano, Honduras. 552p.
- Kaufmann, M. R., A. Shlisky y B. Kent.** 2003. Integrating scientific knowledge into social and economic decisions for ecologically sound fire and restoration management. Proceedings 3rd International Wildland Fire Conference and Exhibition. Sydney, Australia. 11p.
- Myers, L. R.** 2006. Convivir con el fuego-Manteniendo los Ecosistemas y los Medios de Subsistencia Mediante el Manejo Integral del Fuego. Iniciativa Global de Manejo del Fuego. The Nature Conservancy. Tallahassee, Florida, USA. 36p.
- Nájera, D. A.** 2016. Planes de prevención. Capacitación internacional de manejo de fuego. Sistema Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales de Guatemala. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo. Servicio Forestal de los Estados Unidos. Comisión Nacional Forestal de México. Santa Cruz del Quiché, Guatemala. U (11.B) 377-383p.

# Factor Riesgo Como Estrategia Para Validar la Priorización de Áreas Contra Incendios Forestales<sup>1</sup>

José G. Flores Garnica<sup>2</sup>, Alejandra Macías<sup>3</sup>, Uri D. Casillas<sup>4</sup>

## Resumen

La limitación de recursos para el manejo de incendios forestales requiere priorizar áreas forestales para su protección. Para ello se usan criterios como riesgo de incendios. Con los que se generan mapas temáticos para apoyar la toma de decisiones. Sin embargo, previo a esto, se requiere de su validación, bajo un proceso estadísticamente robusto. No obstante, actualmente no se cuenta con uno, por lo que se debe partir del aspecto básico, como es la definición de la unidad de muestreo. Lo cual fue el objetivo del presente trabajo, donde se probaron diferentes tamaños de sitios de referencia (SIR), bajo cuatro intensidades de muestreo distribuidos al azar, a lo largo del estado de Jalisco, México. Dentro de cada SIR se determinó el número de incendios, del período 2005-2013. Dando como resultado, que la variabilidad del número de incendios disminuyó conforme se incrementó el tamaño del SIR, hasta llegar a un comportamiento asintótico (alrededor de 100 km<sup>2</sup>). De esta forma, se determinó que un SIR de 100 km<sup>2</sup> captura la variabilidad del número de incendios, al cual se le denominó como Factor de Riesgo (FR). Finalmente, el uso de este parámetro apoyará la definición del proceso de validación del riesgo. Además, la estandarización del FR permitirá generar información, en diferentes regiones, que no solo sea comparable, sino compatible.

Palabras clave: Áreas prioritarias, factor riesgo (FR), sitios de referencia (SIR)

## Introducción

Los incendios forestales son una de las causas más importantes de pérdida de cobertura forestal en el país. Se estima que en México cada año se presentan 8'900 incendios forestales (Cibrián y otros., 2014). De los cuales el 97 por ciento son

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto Simposio Internacional Sobre Planificación, Políticas, y Economía de Incendios Forestales: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Investigador titular Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); Email: flores.german@inifap.gob.mx

<sup>3</sup> Tesista de la Universidad de Guadalajara; Email: [arboristale@gmail.com](mailto:arboristale@gmail.com)

<sup>4</sup> Colaborador del proyecto "Validación científica de la metodología de evaluación de áreas prioritarias de protección contra incendios"; Email: [green\\_5@hotmail.com](mailto:green_5@hotmail.com)

producidos por actividades humanas (CONAFOR, 2010). Debido a esto, la Comisión Nacional Forestal, a través del Programa Nacional de Prevención de Incendios Forestales, ha implementado una estrategia general de prevención y control de incendios forestales. Sin embargo, debido a que los recursos humanos y económicos son limitados, es necesario definir áreas de atención prioritaria (CONANP, 2009). Para esto se han desarrollado sistemas que evalúan los factores que condicionan la ocurrencia de incendios, y el comportamiento de los mismos (Dentoni y Muñoz, 2012; Julio, 1990). Estos factores se integran, en general, en criterios como riesgo, peligro y vulnerabilidad (Hardy, 2005), cada uno de los cuales se basan en la evaluación y ponderación de una serie de variables específicas (Rojo y otros., 2001). Esta ponderación puede hacerse bajo diferentes enfoques, como lo es el análisis multicriterio (Golubov y otros, 2014), donde grupos de expertos establecen comparaciones entre las variables usadas, y deciden por medio de diferentes métodos cuáles son aquellas que tienen la mayor influencia y les asignan valores de prioridad. Con base a esto, se puede generar cartografía, y estadísticos, que permiten ubicar y dimensionar áreas de atención prioritaria contra incendios forestales (Ager, Vaillant & Finney, 2010; CONAFOR, 2010.)

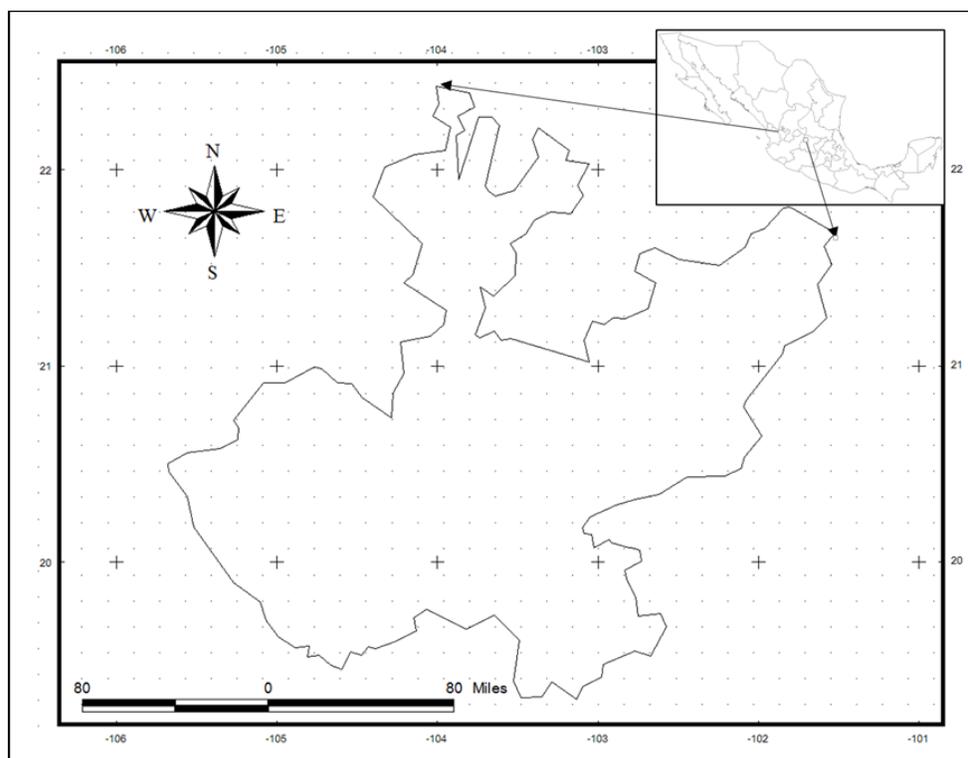
Sin embargo, el uso de la información de áreas prioritarias contra incendios forestales está totalmente condicionado a la comprobación de sus resultados. Ya que se puede caer en el error de atender áreas que en realidad no son prioritarias o, por el contrario, no atender áreas prioritarias. No obstante, sobre este tema son pocos los trabajos que refieren alguna forma de validación. Más aun, no se cuenta con una metodología estandarizada, que permita un proceso de validación sistemático, ni para la priorización en general, ni para cada uno de los criterios que la definen (Salvati & Ferrara, 2015). Por ejemplo, para el caso del criterio de riesgo, se tienen estrategias variadas, como: a) análisis de regresión logística para establecer las variables de mayor importancia, a través del muestreo aleatorio de unidades de 10 km<sup>2</sup> (determinada por la resolución espacial de la información usada) y la evaluación de la bondad del modelo de regresión logística (prueba Hosmer y Lemeshow) (Carillo, 2012; Mohammadi, Bavaghar & Shabani, 2014); b) uso del Índice de Moran y el Coeficiente C de Geary para validar el índice de riesgo definido auto-correlación espacial (Pérez y otros., 2013); c) empleo de bases de datos con antecedentes de 160 días, escogidos en forma sistemática y al azar (5 días por mes y para cada una de las temporadas del período de estudio) (Julio, 1990), d) uso de imágenes de satélite (ej., Modis active fire), para complementar los datos de incendios registrados (Yeguez & Ablan, 2012; Chuvieco y otros, 2007).

Por otra parte, en este tipo de trabajos se ha encontrado que no se justifica adecuadamente el tamaño de la unidad de muestreo, que se usa para la validación. Y, nuevamente, existen formas en las que se determina este tamaño muestral, como, por

ejemplo: i) las variables se cartografían a una resolución espacial de un 1 km<sup>2</sup> (Chuvieco y otros.2007). De cualquier manera, en todos los casos la sección del tamaño de unidad de muestreo se hace arbitrariamente. De acuerdo con esto, uno de los primeros puntos que se deben definir, en el proceso de validación de áreas de riesgo de incendio, es una metodología que permita estandarizar tanto procesos, como el tamaño de la unidad de muestreo. Por lo que el propósito de este trabajo fue el determinar el tamaño de sitio, estadísticamente adecuado, para soportar dicha validación. A los cuales se les denominó como Sitios de Referencia (SIR), mientras que al número de incendios que se localizan en cada SIR se le nombra Factor de Riesgo (FR). De esta forma, una validación de riesgo determinada consistiría, básicamente, en un análisis comparativo entre el FR determinado en un punto dado y el FR que corresponde a cierta clase de riesgo de incendio forestal. Tradicionalmente, estas clases se definen dividiendo la sumatoria de los valores ponderados de cada variable, entre el número de clases a considerar (Castillo y otros., 2013; Julio, 2010). Sin embargo, en este trabajo se propone la determinación de los rangos de número de incendios con base a su probabilidad de ocurrencia. Es decir, considerando cierto número de varianzas para cada clase de riesgo de incendio forestal a determinar.)

## **Materiales y métodos**

Para definir el área de referencia de riesgo de incendios forestales, se usó información correspondiente al estado de Jalisco, el cual se ubica en el occidente de México: al Norte 22° 45' y al sur 18° 55' de latitud norte, al este 101° 30', al oeste 105° 42' de longitud oeste (*figura 1*). Su superficie comprende 78,588 km<sup>2</sup>, donde en el 68 por ciento predomina el clima cálido subhúmedo (costa y la zona centro), en el 18 por ciento de su territorio el clima es templado subhúmedo (partes altas de las sierras) y el 14% del estado es seco y semiseco (Norte y Noreste). La temperatura media anual es de 20.5° C y la precipitación promedio anual son 850 mm aproximadamente, aunque en las zonas costeras es de más de 1,000 milímetros. Dominan los bosques de coníferas y encinos; le siguen en importancia las selvas caducifolias y subcaducifolias (sierra que colinda con la costa); hay pastizales (norte y noroeste del estado); matorrales y áreas cubiertas de pasto; palmares, manglares y tulares (zona costera) (IIEG, 2014).



**Figura 1**— Ubicación del área de estudio, que corresponde al estado de Jalisco, México.

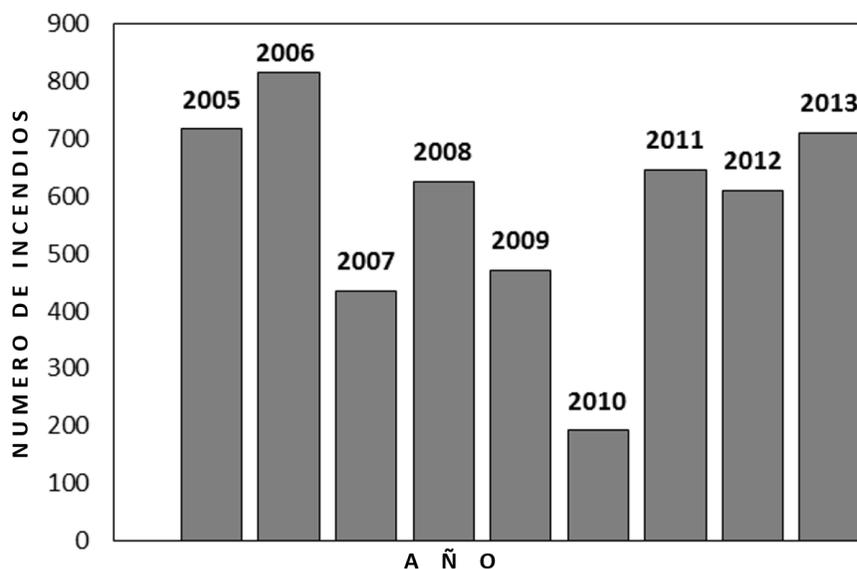
### ***Ocurrencia de incendios forestales***

En promedio, en el estado de Jalisco se queman entre 17,000 (SEMADET, 2014) y 20,761.58 (Dato calculado, de la Base de datos de CONAFOR, 2015 de registro de ocurrencia de incendios) hectáreas cada año, con un número promedio de 500 (SEMADET, 2014) a 566 (CONAFOR, 2015) incendios por año. El tipo de vegetación más afectado son los pastizales, con un promedio de casi 7,000 ha por año. Le siguen las áreas forestales con arbustos y matorrales, donde se afectan cada año un promedio de casi 6,000 ha. Las áreas con arbolado adulto, en promedio, son afectadas en 2,500 ha. (SEMADET, 2014).

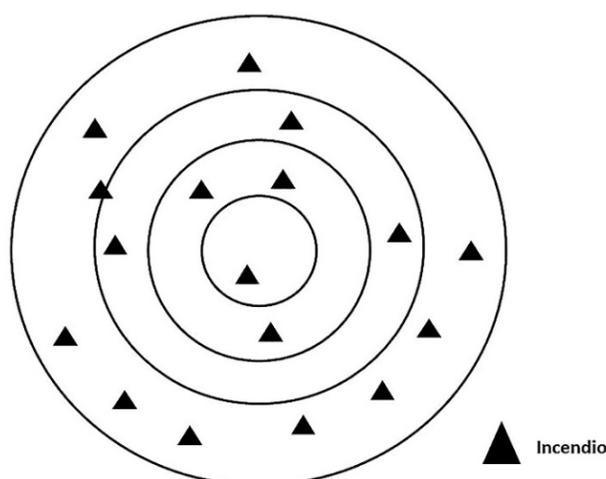
### ***Sitios de referencia***

En este proyecto se define la superficie, de la unidad de muestreo, más adecuada que permitiera captar la variabilidad del número de incendios forestales. Por lo cual, se analizaron una serie de superficies, que definieron áreas denominadas como sitios de referencia (SIR). Estos sitios fueron polígonos circulares, definidos con las siguientes superficies: 1, 2, 4, 8, 10, 15, 30, 50, 70, 100, 150 y 200 km<sup>2</sup>. Estos polígonos se ubicaron concéntricamente en los sitios de muestreo. Y posteriormente con base a la

información de estadísticas de los incendios de la CONAFOR (2005 – 2013) (*figura 2*), se ubicaron geográficamente cada uno de los incendios forestales reportados. Esto permitió hacer un conteo y registro de los incendios que se localizaban dentro de cada SIR (*figura 3*). Por otra parte, con el objetivo de captar la variabilidad de número de incendios que podría presentarse debido a la densidad de puntos de muestreo, se establecieron las siguientes intensidades de muestreo: 100, 300, 500 y 1000 puntos. En todos los casos, el muestreo fue distribuido completamente al azar a lo largo del estado de Jalisco, México.



**Figura 2**— Número de incendios por año en el estado de Jalisco, en el periodo del 2005 al 2013 (CONAFOR, 2015).



**Figura 3**— Esquematación teórica de la localización de incendios forestales en referencia a la variación de superficies analizadas.

### **Análisis de variabilidad**

Considerando cada una de las cuatro intensidades de muestreo señaladas, se determinó el número de incendios en cada uno de los SIR's correspondientes. Con base a esto, se generaron estadísticos descriptivos en relación al número de incendios por cada una de las doce superficies analizadas. Por otra parte, a través de análisis de varianza y pruebas de medias de Tukey, se observó si la diferencia entre el número de incendios por superficie fue significativa. Posteriormente, para definir la superficie del SIR que captara la variabilidad del número de incendios, se graficó la variación de esta variabilidad (coeficiente de variación) en relación a los 12 tamaños de SIR. Como criterio de variabilidad se usó el coeficiente de variación, ya que describe la cantidad de variabilidad (en relación con la media) sin basarse en las unidades. Por lo que, a diferencia de la desviación estándar, se puede comparar la dispersión de las diferentes intensidades de muestreo, utilizadas en este trabajo, independientemente de la diferencia en sus medias. Estas graficas se generaron en forma independiente para cada una de las cuatro intensidades de muestreo probadas. En estas graficas se determinó la superficie del SIR donde la tendencia de la variabilidad inicia un comportamiento asintótico. Con la cual se determinó el Factor de Riesgo, que significa el número de incendios que se ubican dentro dicha superficie (SIR).

## Resultados y discusión

### ***Estadísticos de SIR's***

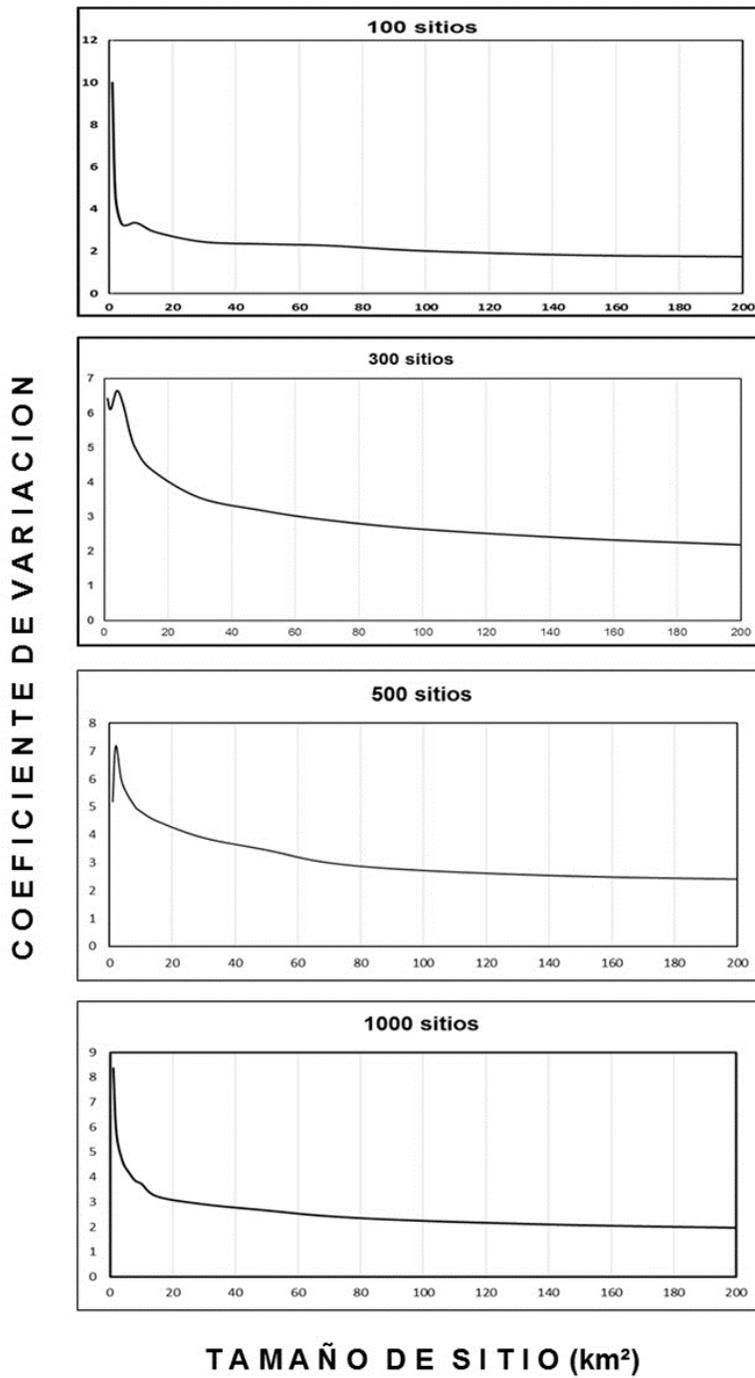
Con base a las cuatro intensidades de muestreo probadas (100, 300, 500 y 1000 sitios), se calcularon los estadísticos correspondientes a los diferentes tamaños de sitio evaluados (*tabla 1*). Sin importar el tamaño del sitio, el valor mínimo fue de cero incendios. Mientras que el número máximo de incendios por sitio fue desde 8 (en 1 km<sup>2</sup>), hasta 276 (en 200 km<sup>2</sup>). Por otro lado, de acuerdo con las medias y las modas, se deduce que en la mayoría de los SIR muestreados no se ubicó ningún incendio. En cuanto a la variabilidad, considerando el coeficiente de variación, esta se empieza a estabilizar a partir del tamaño de sitio de 70 km<sup>2</sup>.

**Tabla 1**— *Estadísticos del número de sitios que se ubican por tamaño de sitio, en relación a las intensidades de muestreo.*

| Estadístico              | Intensidad de muestreo | Tamaño del sitio (km <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          |                        | 1                                   | 2    | 4    | 8    | 10   | 15    | 30    | 50    | 70    | 100   | 150   | 200   |
| Media                    | 100                    | 0.01                                | 0.06 | 0.16 | 0.37 | 0.49 | 0.74  | 1.5   | 2.44  | 3.33  | 4.66  | 6.75  | 8.97  |
|                          | 300                    | 0.05                                | 0.09 | 0.23 | 0.47 | 0.55 | 0.8   | 1.48  | 2.45  | 3.32  | 4.62  | 7     | 9.41  |
|                          | 500                    | 0.05                                | 0.11 | 0.21 | 0.42 | 0.53 | 0.77  | 1.41  | 2.36  | 3.31  | 4.73  | 7.36  | 9.89  |
|                          | 1000                   | 0.04                                | 0.08 | 0.15 | 0.3  | 0.38 | 0.61  | 1.26  | 2.11  | 2.92  | 4.18  | 6.31  | 8.53  |
| Error típico             | 100                    | 0.01                                | 0.03 | 0.05 | 0.12 | 0.16 | 0.21  | 0.37  | 0.57  | 0.76  | 0.94  | 1.22  | 1.57  |
|                          | 300                    | 0.02                                | 0.03 | 0.09 | 0.15 | 0.16 | 0.2   | 0.3   | 0.45  | 0.56  | 0.7   | 0.96  | 1.19  |
|                          | 500                    | 0.01                                | 0.03 | 0.05 | 0.09 | 0.11 | 0.15  | 0.24  | 0.36  | 0.44  | 0.58  | 0.83  | 1.06  |
|                          | 1000                   | 0.01                                | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.06  | 0.12  | 0.18  | 0.22  | 0.3   | 0.41  | 0.53  |
| Desviación estándar      | 100                    | 0.1                                 | 0.28 | 0.53 | 1.24 | 1.6  | 2.14  | 3.67  | 5.72  | 7.55  | 9.41  | 12.24 | 15.7  |
|                          | 300                    | 0.34                                | 0.55 | 1.51 | 2.59 | 2.74 | 3.5   | 5.25  | 7.8   | 9.67  | 12.21 | 16.61 | 20.62 |
|                          | 500                    | 0.25                                | 0.77 | 1.23 | 2.09 | 2.55 | 3.45  | 5.47  | 8.14  | 9.89  | 12.88 | 18.48 | 23.83 |
|                          | 1000                   | 0.31                                | 0.43 | 0.69 | 1.15 | 1.41 | 1.96  | 3.66  | 5.62  | 7.1   | 9.39  | 13.09 | 16.82 |
| Varianza de la muestra   | 100                    | 0.01                                | 0.08 | 0.28 | 1.55 | 2.56 | 4.6   | 13.46 | 32.73 | 57.07 | 88.49 | 149.8 | 246.5 |
|                          | 300                    | 0.12                                | 0.3  | 2.28 | 6.68 | 7.51 | 12.24 | 27.53 | 60.8  | 93.48 | 149.1 | 275.9 | 425.1 |
|                          | 500                    | 0.06                                | 0.6  | 1.51 | 4.37 | 6.49 | 11.89 | 29.96 | 66.22 | 97.89 | 166   | 341.5 | 567.8 |
|                          | 1000                   | 0.1                                 | 0.19 | 0.47 | 1.33 | 1.99 | 3.84  | 13.43 | 31.53 | 50.44 | 88.26 | 171.5 | 283   |
| Coeficiente de variación | 100                    | 10                                  | 4.63 | 3.29 | 3.36 | 3.26 | 2.9   | 2.45  | 2.34  | 2.27  | 2.02  | 1.81  | 1.75  |
|                          | 300                    | 6.43                                | 6.12 | 6.66 | 5.46 | 4.95 | 4.35  | 3.55  | 3.18  | 2.91  | 2.64  | 2.37  | 2.19  |
|                          | 500                    | 5.19                                | 7.19 | 5.87 | 5.03 | 4.83 | 4.5   | 3.89  | 3.45  | 2.99  | 2.72  | 2.51  | 2.41  |
|                          | 1000                   | 8.36                                | 5.74 | 4.62 | 3.86 | 3.73 | 3.22  | 2.91  | 2.67  | 2.43  | 2.25  | 2.07  | 1.97  |

### **Factor de Riesgo (FR)**

La *figura 4* define la variabilidad, basada en el coeficiente de variación, en relación al tamaño del sitio. Donde es posible observar que la variabilidad del número de incendios disminuye conforme el SIR incrementa su tamaño. Esto ocurre en todas las intensidades de muestreo, hasta llegar a una asíntota, donde los valores del coeficiente de variación tienden a estabilizarse. En el caso de la intensidad de muestreo de 100 sitios, el coeficiente de variación (CV) empieza a estabilizarse a un tamaño de sitio de 40 km<sup>2</sup>, alcanzando un comportamiento asíntótico cuando la superficie del SIR está entre los 80 y 100 km<sup>2</sup>. Para la intensidad de muestreo de 200, la asíntota de la curva se inicia en el SIR de 100 km<sup>2</sup>. Por otra parte, las intensidades de muestreo de 300 y 500 sitios definieron tendencias similares en la disminución del CV. Alcanzando un inicio de la disminución del CV aproximadamente a un tamaño de sitio de 80 km<sup>2</sup>. Mientras que la estabilización del CV se define entre los SIR's de 120 y 140 km<sup>2</sup>. Finalmente, tendencia de la variabilidad en la intensidad de muestreo de 1000 sitios inicia un comportamiento asíntótico entre los 60 y 80 km<sup>2</sup>. Alcanzando, aproximadamente, el menor CV a un tamaño de SIR de 100 km<sup>2</sup>.



**Figura 4**—Tendencia del coeficiente de variación en relación al tamaño de sitio, para diferentes intensidades de muestreo.

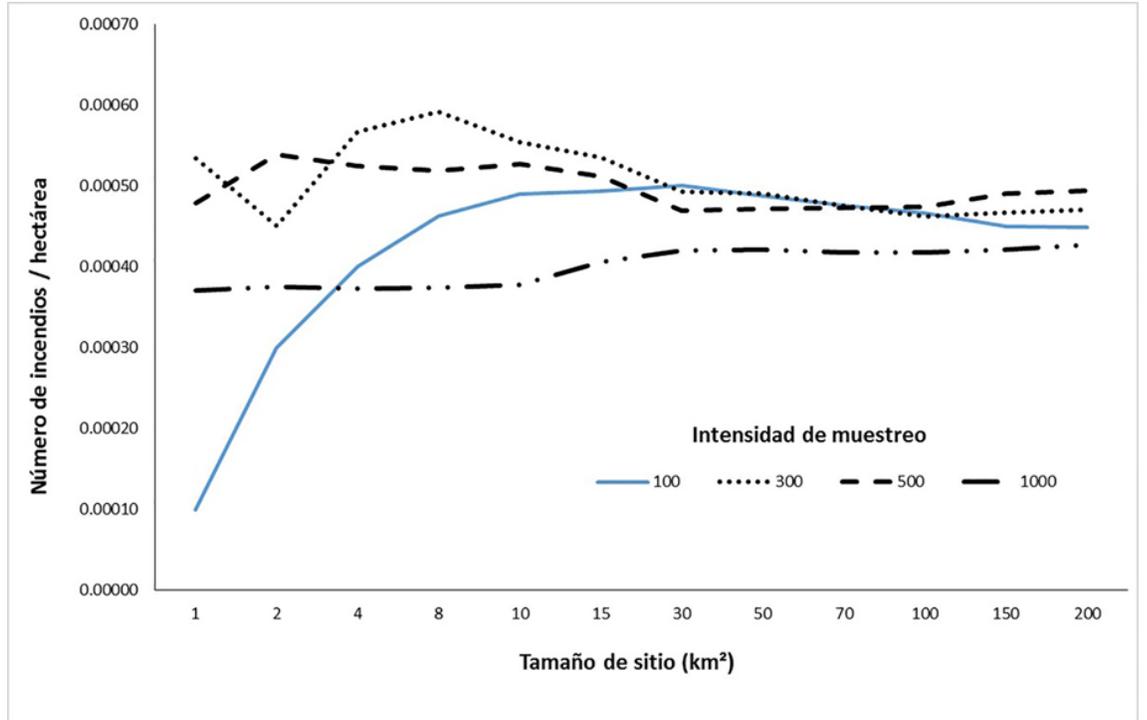
De acuerdo a lo anterior, se considera que, en general, el comportamiento asintótico del CV se presenta en un tamaño de SIR de, aproximadamente, 100 km<sup>2</sup>. Por lo que esta superficie se usó para definir el Factor de Riesgo. Aunque, en los

casos de las intensidades de muestra de 300 y 500 sitios, el comportamiento asintótico se define más claramente en entre los SIR's de 120 y 140 km<sup>2</sup>, la disminución del CV que se logra, en relación al SIR de 100 km<sup>2</sup> no es significativa. Esto se corrobora al comparar los valores de CV que se determinan en cada una de las intensidades de muestreo probadas (*cuadro 1*). Donde los valores de CV son muy similares, entre las diferentes intensidades de muestreo, considerando un SIR de 100 km<sup>2</sup>, 2.01864, 2.64275, 2.72100 y 2.24920 respectivamente para 100, 300, 500 y 1000 sitios muestreados. Con base a toda esta información, el factor de riesgo se conceptualiza como el número de incendios que se ubican en una superficie circulares de 100 km<sup>2</sup>.

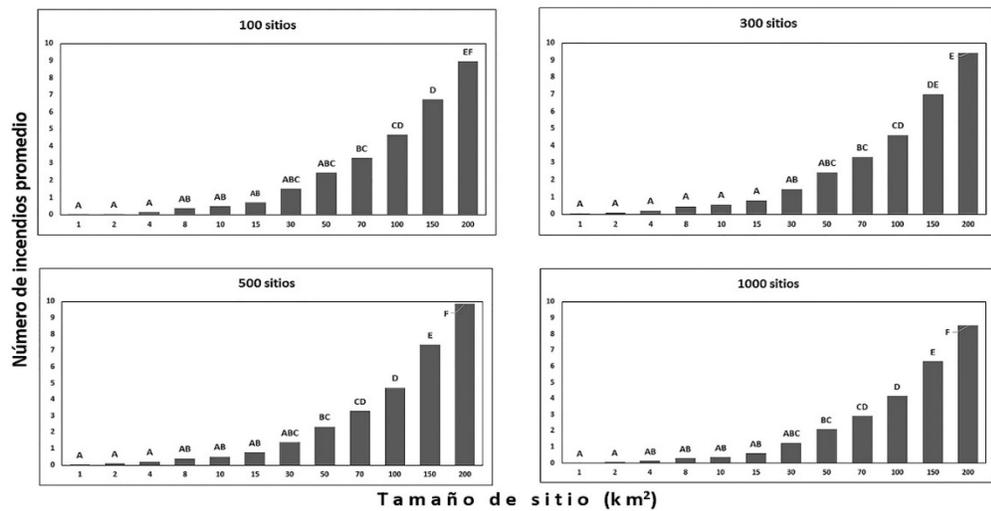
### **Número de incendios por hectárea**

El Factor de Riesgo (número de incendios en 100 km<sup>2</sup>), puede referirse también como el número de incendio por hectárea (NIH). La *figura 5* muestra la tendencia del NIH, estimado con base al número de incendios que se ubicó en promedio en cada uno de los tamaños de sitio probados. Los cuales, a su vez, se diferencian por cada una de las intensidades de muestreo probadas. Los valores de NIH variaron en un rango que va desde los 0.00010 hasta los 0.00060 NIH. Como se observa, existe una alta variabilidad en el número de incendios por hectárea en los SIR's menores a 30 km<sup>2</sup>. Esto incluso considerando las diferentes intensidades de muestreo. Por otra parte, a después de SIR de 30 km<sup>2</sup>, el promedio de NIH se estabiliza entre los 0.00040 y los 0.00050 NIH. La intensidad de muestreo que mostro mayor variabilidad fue la de 100 sitios. Mientras que las intensidades de 500 y 1000 sitios presentaron una tendencia más constante. Finalmente, el tamaño de SIR de 100 km<sup>2</sup> define una estabilización en el número de incendios por hectárea.

Considerando lo anterior, se hicieron análisis de varianza para las intensidades de muestra de 500 y 1000 sitios. En ambos casos las diferencias fueron significativas, ( $p= 0.0001$ ). Lo cual implica que existe diferencia entre las del número de incendios forestales que se ubican en cada uno de los 12 tamaños de sitios. La *figura 6* muestra las relaciones comparativas resultantes de la prueba de Tukey, con la que se compararon cada tamaño de sitio con todos los demás. Se resalta que, tanto para la intensidad de muestreo de 500, como la de 1000 sitios, las medias de los SIR's de 100, 150 y 200 km<sup>2</sup>, resultaron ser diferentes en comparación al resto de los SIR's.



**Figura 5**—Comportamiento de la media del número de incendios forestales por hectárea, por tamaño de sitio e intensidad de muestreo.



**Figura 6**—Resultado de la comparación de medias (prueba de Tukey), de los diferentes tamaños de sitio, en relación a las intensidades de muestreo

## Conclusiones

Con base a los resultados del presente estudio se definen las siguientes conclusiones:

- 1) La variación del número de incendios se empieza a estabilizar, aproximadamente, a un tamaño de SIR de 100 km<sup>2</sup>.
- 2) Las diferentes intensidades de muestreo definieron tendencias similares en cuanto a la variabilidad del número de incendios.
- 3) El Factor de Riesgo (FR) se conceptualiza como el número de incendios detectados dentro de una superficie circular de 100 km<sup>2</sup>.
- 4) Existe diferencia significativa, en el número de incendios, ubicados en los diferentes tamaños de SIR.
- 5) Aunque es posible definir el número de incendios por hectárea (NIH), su estimación se basa en la definición del FR. Por lo que solo debe usarse para fines comparativos cuando la superficie a analizar sea menor a 100 km<sup>2</sup>.
- 6) El FR puede ser usado para apoyar la definición de una estrategia estandarizada de validación en la definición de áreas de riesgo de incendios forestales.
- 7) Con base al FR se puede determinar el número de incendios forestales de una serie de sitios de muestreo. Con lo que se podrá no solo hacer comparaciones, sino también el compartir información entre diferentes áreas.

## Referencias

- Ager, A.A., Vaillant, N.M. & Finney, M.A.** 2010. A comparison of landscape fuel treatment strategies to mitigate wildland fire risk in the urban interface and preserve old forest structure. *Forest Ecology and Management*, 259: 1556-1570.
- Calkin, D.E., Cohen, J.D., Finney, M.A. & Thompson, M.P.** 2014. How risk management can prevent future wildfire disasters in the wildland-urban interface. *PINAS*, 111(2): 746-751.
- Calkin, D.E., Thompson, M.P., Finney, M.A. & Hyde, K.D.** 2011. A real-time risk assessment tool supporting wildland fire decision-making. *Journal of Forestry*, 109: 274-280.
- Carrillo, G. R., Rodríguez, T.D, Hubert, T., Monterroso, R. & Santillan, P.** 2012. Análisis espacial de peligro de incendios forestales en Puebla, México. *INTERCIENCIA*, 37(9), 678-683.
- Castillo, S., Garfias, S., Julio, A. & Correa, J.** 2013. Riscos: Naturales, Antrópicos e Mistos. Incendios forestales en Chile. Análisis general de riesgos. Universidad de Coímbra. Portugal.
- Chuvienco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Martín, M., Vilar, L., Salas, J.** 2007. Generación de un Modelo de Peligro de Incendios Forestales mediante Teledetección y SIG. Ed. Martín. Pp. 19-26.
- Cibrian, T., Martínez, D. & Raygoza M.** 2014. Incendios forestales. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) Serie Fascículos. Secretaria de Gobernación. CONAFOR. México. 44 p.

- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).** 2009. Estudio de inventario de combustibles y generación de información base para el Programa de Manejo Integrado de Fuego en los Chimalapas. México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).** 2010. Incendios forestales. Guía práctica para comunicadores. 3a ed. México: Autor.
- Dentoni, M. C., & Muñoz, M.M.** 2012. Evaluación de peligro de incendios. Informes técnicos. Sistemas de evaluación de peligro de incendios. Informe técnico N. 1. Argentina. Plan Nacional de Manejo del Fuego. Programa Nacional de Evaluación de Peligro de Incendios y Alerta Temprana.
- Golubov, J., Mandujano, S., Guerrero-Eloisa, R., Mendoza, Koleff, González, A., Barrios, Y. & Born, G.-SCHMIDT.** 2014. Análisis multicriterio para ponderar el riesgo de las especies invasoras, en R. Mendoza y P. Koleff (coords). Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp.123-133.
- Hardy, C.C.** 2005. Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest Ecology and Management*, 211: 73-82.
- Instituto de Información Estadística, Geográfica. (IEEG).** 2014. Conociendo Jalisco. Gobierno del Estado Jalisco. México: Autor.
- Julio, A.** 1990. Diseño de índices de riesgo de incendios forestales para Chile. *Bosque*, 1(2): 59-72.
- Martín I., M.P. & Rejalaga N., L.K.** 2010. Cartografía de incendios forestales en Paraguay mediante imágenes Aqua-Modis. *Serie Geográfica*, 16: 61-70.
- Mildrexler, D., Yang, Z., Cohen, W.B. & Bell, D.M.** 2016. A forest vulnerability index based on drought and high temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 173:314-325.
- Mohammadi, F., Bavaghar, M. R. & Shabanian N.** 2014. Forest fire risk zone modeling using logistic regression and GIS: an Iranian case study. *Small-scale Forestry*, 13, 117-125.
- Pan, J., Wang, W. & Li, J.** 2016. Building probabilistic models of fire occurrence and fire risk zoning using logistic regression in Shanxi Province, China. *Nat Hazards*, 81: 1879-1899.
- Pérez, V., Márquez, L., Cortés, O. & Salmerón, M.,** 2013. Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*, 19 (2): 37-58.
- Rojo, M., Santillán, P., Ramírez, M. & Arteaga M., B.** 2001. Propuesta para determinar índices de peligro de incendio forestal en bosque de clima templado en México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 7(1): 39-48.
- Salvati, L. & Ferrara, A.** 2015. Validation of MEDALUS Fire Risk Index using Forest Fire Statistics through a multivariate approach. *Ecological Indicators*, 48, 365-369.
- Schroeder, W., Csiszar, I., Giglio, L., and Schmidt, C.C.** 2010. On the use of fire radiative power, area, and temperature estimates to characterize biomass burning via moderate to coarse spatial resolution remote sensing data in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research*, 115: 1-10.
- SEMADET.** 2015. Consultado 13 de enero de 2016 en <http://incendios.semadet.jalisco.gob.mx/estadísticas>.
- Vilar, H. L., Martín, I. M.P. & Martínez, V. F. J.** 2011. Logistic regression models for human-caused wildfire risk estimation: analysing the effect of the spatial accuracy in fire occurrence data. *Eur J Forest Res*, 130, 983-996.

**Yeguez, M. & Ablan, M.** 2012. Índice de riesgo de incendio forestal dinámico para la cuenca alta del río Chama. *Revista Forestal Venezolana*, 56 (2): 127-134.

# Valoración del Impacto Económico de Incendios Forestales Sobre el Recurso Paisaje y Ocio Recreo: Propuesta Para su Incorporación en la Valoración de Daños<sup>1</sup>

Juan Ramón Molina<sup>2</sup>, Francisco Rodríguez y Silva<sup>2</sup>

## Resumen

Los servicios ambientales y los bienes paisajísticos son raramente incorporados en la valoración de daños y perjuicios ocasionados por los incendios forestales, aunque pueden constituir una gran proporción del total. En algunos incendios ocasionados dentro de Parques Naturales se han datado daños muy superiores en estos recursos que en los recursos tangibles.

La valoración económica de los daños ocasionados sobre los servicios ambientales y bienes paisajísticos requiere del empleo de técnicas indirectas, como la valoración contingente o el método coste viaje. El excedente del consumidor es muy dispar en base a la zona geográfica analizada y al paisaje envolvente, oscilando a modo de ejemplo en el Parque Natural de Aracena y Picos de Aroche entre 25-91 €/visitante. En el mismo espacio, la valoración de ocio y recreo asciende a más de 21 millones de euros.

El proceso metodológico, es más que una valoración económica, puesto que incluye el cambio neto en el valor de los recursos, en base al nivel de intensidad del fuego. El inventario de campo de 14 incendios y la realización de una encuesta ha permitido construir una matriz de depreciación o cambio en el valor de los servicios ambientales en base a la intensidad del fuego, la cual se encuentra directamente relacionada con la longitud de llama. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) facilitan la integración de la valoración económica y el comportamiento del fuego, constituyendo una herramienta para el análisis de la vulnerabilidad económica del territorio. En este sentido, el procedimiento metodológico puede utilizarse de modo preventivo (mediante el comportamiento potencial del fuego) o de modo post-fuego (mediante inventario de campo). Se incluyen cuatro valoraciones del impacto económico del fuego (incendios de Obejo, Cerro Vértice, Cerro Catena y Alhama), con objeto de la identificación de la importancia relativa del recurso paisaje y del ocio recreo en el área quemada.

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto simposio Internacional sobre Políticas, Planificación, y Economía de los Incendios Forestales: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba, Edificio Leonardo da Vinci, Campus de Rabanales, 14071, Córdoba, España. e-mail: jrmolina@uco.es; ir1rosif@uco.es

Palabras clave: vulnerabilidad socioeconómica; ratio de depreciación; valoración coste-viaje

## **Introducción**

La ocurrencia de un incendio forestal conlleva impactos económicos sobre los recursos tangibles, pero también sobre los servicios ambientales y los bienes paisajísticos (Kerkviet y Novell 2000). Generalmente, las valoraciones periciales de daños post-incendio obvian estos últimos, dada su dificultad de valoración. Sin embargo, los cambios socioeconómicos han motivado un auge en el valor de las segundas viviendas o viviendas de recreo situadas en el bosque, principalmente en el entorno de espacios naturales protegidos (Navarrete y González 2003).

La valoración de bienes paisajísticos requiere de métodos indirectos como el método de coste-viaje, la valoración contingente o los precios hedónicos (Christie y otros 2006, Lasanta y otros 2006). El empleo de cualquiera de estas metodologías está sujeta a debate, puesto que se ve condicionada por la muestra. En esta aproximación, utilizaremos el método coste-viaje (TCM), el cual utiliza el excedente del consumidor como indicador. El excedente del consumidor es entendido como la diferencia entre la curva de demanda y línea de gasto monetario para acceder a él. La consideración de diferentes tipos de costes implica importantes variaciones en la curva de demanda y, en consecuencia, en el excedente del consumidor (Azqueta 1996). Los costes de un viaje pueden dividirse en costes ineludibles (combustible, tiempo,...) y costes circunstanciales (comida, alojamiento,...).

El uso de los Sistema de Información Geográfico (SIG) permite la valoración de los recursos naturales en base a tipología de la vegetación y la intensidad del fuego (Zamora y otros 2010, Molina y otros 2009). La valoración georreferenciada de los recursos naturales mejora la valoración económica post-fuego, pero también constituye una herramienta preventiva, facilitando la ordenación territorial y la asignación presupuestaria (Rodríguez y Silva y González Cabán 2010). Los SIG permiten la localización de las actividades recreativas y, en base a la demanda de cada actividad, la estimación de su potencial económico. Por tanto, la valoración georreferenciada de los bienes paisajísticos o recreativos constituye una herramienta de interés para la optimización de las medidas de prevención o la mitigación de los impactos y daños, incorporando recursos en auge que usualmente no son considerados a pesar de que pueden constituir un peso importante en el valor total del ecosistema.

El objetivo principal de este trabajo es la propuesta de un procedimiento metodológico para la valoración económica de las pérdidas en el recurso recreativo, provocadas por el paso del fuego. La propuesta, no es una mera valoración económica, puesto que incluye aspectos de comportamiento del fuego (intensidad) y de la resiliencia de la vegetación, constituyendo una medida de la vulnerabilidad económica de cada paisaje pre o post-fuego. A modo de ejemplo, se incluyen aplicaciones para su uso preventivo (Parque Natural de Aracena y Picos de Aroche) y para su uso post-fuego (incendios de Obejo, Cerro Vértice, Cerro Catena y Alhama). Se realizará un análisis de los valores relativos de cada zona, con idea de identificar si existen diferencias significativas entre los incendios considerados.

## Material y métodos

### Área de estudio

Este estudio utiliza una escala de paisaje para la aplicación preventiva, y una escala de incendio para la aplicación post-fuego. En el caso de la aplicación preventiva, el estudio se dirige al Parque Natural de Aracena y Picos de Aroche, situado en la provincia de Huelva, al suroeste de España (Figura 1). El Parque dispone de más de 186.000 ha, con un paisaje cambiante en base a la altitud y la exposición. La economía rural está sustentada por el aprovechamiento porcino y turístico. La vegetación está dominada por las quercíneas adhesadas, presentando amplias superficies cubiertas de castaño; si bien también se presentan zonas matorralizadas y repoblaciones de coníferas.



**Figura 1-** Localización del área de estudio preventiva y de los incendios evaluados

Por su parte, la aplicación post-fuego se realiza en cuatro incendios (Figura 1), con dispar vegetación. El incendio de Obejo recorrió casi 5.000 ha y el de Cerro Vértice casi 150 ha, de poco valor turístico, dado su carácter privado y la ausencia de infraestructura. El incendio de Alhama (3.260 ha), aunque no se encontraba en una zona protegida, disponía de mayor potencial, dada su cercanía a núcleos poblados y la frecuente presencia de senderistas y ciclistas. Por último, el incendio de Cerro Catena (209 ha) se localiza dentro de uno de los espacios naturales más grandes de la Península Ibérica, disponiendo de gran presión turística.

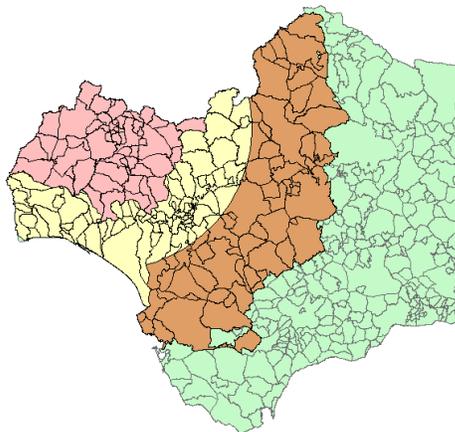
### **Valoración económica: método coste-viaje**

La valoración del recurso recreativo mediante el método del coste viaje requiere de la elaboración de encuestas, con idea de conocer las características y costes asumidos por los visitantes de una zona determinada. Las encuestas constaron de tres partes interrelacionadas: la primera con información referente a los costes básicos (lugar de origen, medio de transporte,...), una segunda parte acerca de los costes circunstanciales (medio de alojamiento, comidas,..) y, una última parte acerca de las actividades recreativas del espacio que han motivado su visita y de la afección que supondría un incendio en su visita.

La función de demanda puede ser desarrollada de forma individual por visitante o por zonas de demanda, en base a su lugar de origen (Haab y McConnel 2002). El excedente del consumidor será calculado de acuerdo a los costes ineludibles y circunstanciales, utilizando cuatro zonas (< 75 km, 75-150 km, 150-250 km y más de 250 km), dada las diferencias existentes en coste entre los visitantes de los pueblos circundantes al espacio y los afluentes de las grandes capitales (Figura 2). El coste del desplazamiento será estimado en base a un coste medio del combustible 1,1 €/l (valor medio 2014-2016) y un consumo de 11/17 km. Por su parte el coste del tiempo, es estimado en España como 8 €/h (Gutiérrez 2008) o 4,85 €/h (Riera y otros 1994). Aunque existe la tendencia generalizada de usar un tercio del salario medio como coste del tiempo, otros recientes estudios han incrementado este valor al 50% (Wolff 2014). En el caso de España, considerando un salario medio de 15,7 €/h (año 2014), el coste del tiempo estaría comprendido entre 5,24 €/h y 7,85 €/h, considerando un tercio o la mitad del salario medio. Dada la falta de información actualizada del coste real del tiempo, se propone para este estudio la utilización del valor medio de ambas aproximaciones (6,54 €/h).

El excedente medio del consumidor será el producto del excedente del consumidor para cada una de las zonas por su frecuencia de afluencia. El valor recreativo anual se obtiene como un producto entre el excedente del consumidor

medio y el número de visitantes, obtenido de la estadística oficial para los Espacios Naturales y por aproximación del número de visitantes mediante visita directa u opinión de los agentes de medio ambiente presentes en la zona. Se puede acudir a un reparto proporcionado en función del valor cualitativo de cada paisaje a semejanza del planteado por Molina y otros (2016) para el Parque Natural de Aracena y Picos de Aroche.



**Figura 2-** Zonificación realizada para la valoración de coste-viaje en el Parque Natural de Aracena y Picos de Aroche

### **Valoración económica del impacto del fuego sobre el recurso recreativo**

La valoración económica de la repercusión de un incendio sobre una zona requiere de la identificación de un período de resiliencia o recuperación medio. La composición florística y la intensidad del fuego determinará la resiliencia de cada ecosistema, expresada como la adaptación y recuperación del paisaje tras el incendio. En este sentido, las pérdidas guardan una relación directa con los años de recuperación o de actualización de esa pérdida económica, si bien en algunos casos como los pastizales desarbolados, el efecto del fuego puede ser positivo:

$$P = \frac{V(1+t)^n - 1}{t(1+t)^n} \quad (1)$$

donde "P" son las pérdidas ante una afección total (€/ha), "V" es el valor anual calculado por el método coste-viaje (€/ha), "t" es la tasa de interés anual y "n" es el número de años hasta que el paisaje recupera su valor recreativo (afluencia de semejantes similar a la previa al incendio). Para el área de estudio se estima un período de recuperación comprendido entre los 0 años (pastizales desarbolados sin

aprovechamiento ganadero, donde el efecto es positivo) y los 70 años de masas de castaño denso.

La formulación (1) estima unas pérdidas con una afección total del paisaje, es decir con un máximo de severidad de las llamas. Sin embargo, el comportamiento del fuego no es homogéneo, dependiendo de la presencia de combustible, la topografía y las condiciones meteorológicas. Por tanto, se requiere de un análisis del comportamiento de fuego potencial para la aplicación preventiva (P.N. Aracena y Picos de Aroche), realizada con ayuda de simuladores espaciales, y de un inventario de campo o imágenes de satélite para la valoración post-fuego. La valoración final del impacto del fuego es fruto del producto entre la valoración total y la depreciación del valor del recurso, el cual depende de la intensidad de las llamas (ecuación 2). Por tanto, se presenta una herramienta que es más que una mera valoración económica, puesto que refleja la vulnerabilidad paisajística de un ecosistema al fuego.

$$I = P \cdot (RD) \quad (2)$$

donde "P" son las pérdidas ante una afección total (€/ha) y "RD" es el ratio de depreciación del recurso. El ratio de depreciación del recurso se expresa en tanto por uno de la depreciación del valor del paisaje original

La estimación del ratio de depreciación de un recurso intangible, como el valor de uso de un espacio, es complicado, debiendo atender a valoraciones indirectas. En nuestro caso, se adoptaron valores medios de depreciación en función de la intensidad del fuego, la cual se encuentra directamente relacionada con la longitud de llama (Alexander y Cruz 2012). Los valores fueron establecidos tras la visita de 14 incendios en Andalucía y las opiniones de las asociaciones recreativas y la demanda de habitaciones, en base a la ocupación media por intervalos, en relación con los años pre-fuego.

## **Resultados**

### **Vulnerabilidad económica del recurso recreativo**

La valoración del recurso recreativo en el Parque Natural de Aracena y Picos de Aroche requirió de la entrevista de más de 600 encuestas, de las cuales tras los filtros pertinentes (malas respuestas o visita de paso), resultaron un total de unas 500 encuestas. El ratio de respuesta fue del 81.67%, alcanzando sus mayores valores de éxito en los hoteles, y cumpliendo los estándares estadísticos tradicionales para este tipo de estudios. Tras la realización del cálculo del excedente de consumidor, por las cuatro zonas de afluencia consideradas, el excedente osciló entre 25 y 91 euros, en

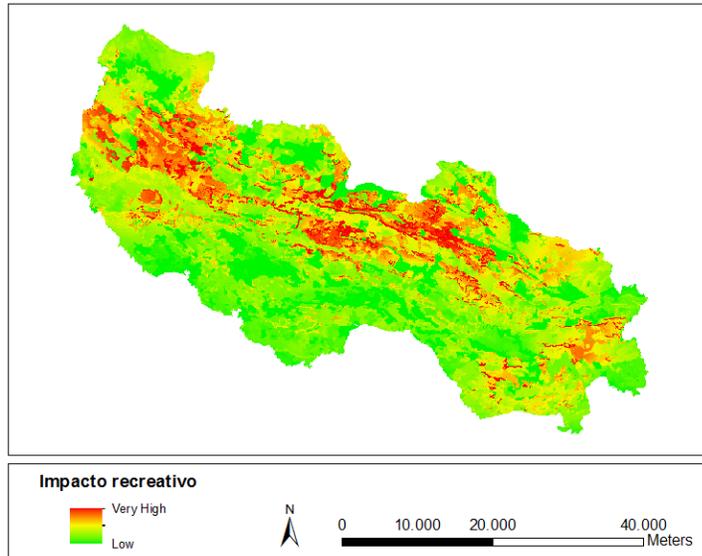
base a la consideración de los costes ineludibles o los costes ineludibles y circunstanciales. En base a los costes considerados, el valor recreativo anual del Parque osciló entre 3.3 y los 11.9 millones de €, constituyendo 3,5 veces más el valor para una consideración que otra (considerando para ambos casos una afluencia media de 130.000 visitantes).

Una vez calculado el valor económico del Parque se procedió a su reparto proporcional en base a su valor paisajístico (Molina y otros 2016) y a la presencia de infraestructura turística y/o recreativa en la zona. La encuesta de preferencias sociales identificó el picnic y el senderismo como las actividades más demandadas. Las zonas más cercanas a éstas, recibirán mayor protagonismo económico. Considerando el valor total, las calidades paisajísticas y la infraestructura preventiva, se pudo asignar valor unitario a cada píxel. De igual forma, se procedió a la asignación de período medio de resiliencia y comportamiento medio del fuego, simplificado el mismo a la longitud de llama media. Para esta asignación, se obtuvo una relación logarítmica entre el ratio de depreciación (%) y la longitud de llama, utilizando para ello las diferentes intensidades y preferencias sociales en los 14 incendios analizados:

$$RD = 0,265 \ln(x) + 0,0837 \quad R^2 = 87,22 \quad (3)$$

donde "RD" es el ratio de depreciación en tanto por uno, y "x" es la longitud de llama media (m)

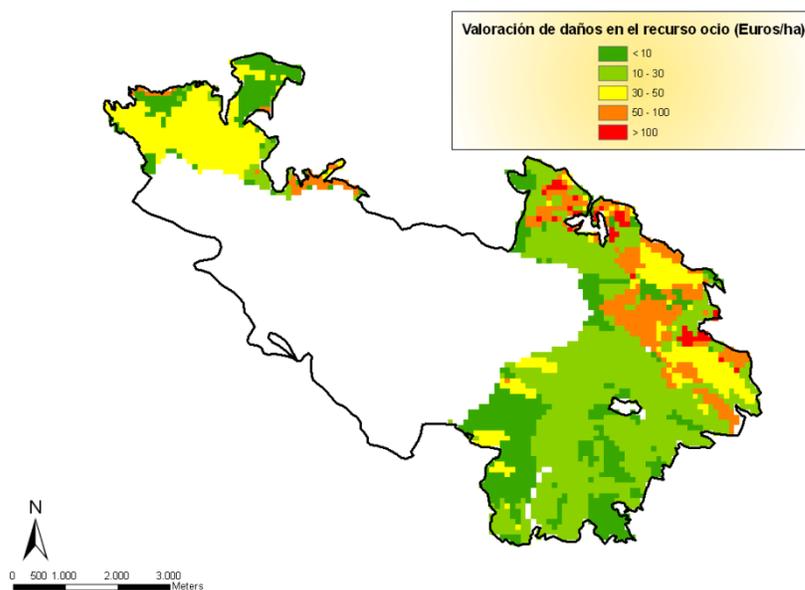
Aplicando las formulaciones económicas recogidas en la metodología, el impacto del fuego en la totalidad del Parque Natural de Aracena, suponiendo comportamiento del fuego potencial, ascendería a un valor entre 21-76 millones de euros, lo cual supone sólo aproximadamente 7 veces más que su valor recreativo anual.



**Figura 3-** Valoración cualitativa del impacto potencial en el recurso recreativo en el Parque Natural de Aracena y Picos de Aroche

### **Impacto económico del fuego sobre el recurso recreativo**

La valoración del impacto económico de un incendio requirió, tanto de la valoración del recurso recreativo previo (metodología análoga al caso anterior), como de un inventario de los niveles de intensidad del fuego. Una vez recopilada toda esta información, y a través del mapa de vegetación, de la severidad del fuego y de las experiencias de los otros incendios analizados, se procedió a la asignación del periodo de resiliencia de cada agrupación vegetal. Con todo esto se dispuso de información georreferenciada de cada uno de los incendios, pudiendo proceder a una priorización de actuaciones de restauración (Figura 4).



**Figura 4-** Valoración georreferenciada del impacto del fuego sobre el recurso recreativo en el incendio de Obejo

El impacto del fuego sobre el recurso recreativo estuvo comprendido entre 27.78 y 175.72 (Cuadro 1), en base a las características de cada una de las zonas quemadas. Por su parte, la representatividad o importancia relativa del recurso recreativo en el conjunto de la valoración varió entre 3.90-13.98%. Mientras en espacios naturales protegidos la importancia del recurso recreativo alcanzó el 13.98%, en lugares cercanos a núcleos urbanos fue del 11.78%. En los incendios en zonas más remotas, el valor del recurso recreativo fue del 5.31% ( $\pm 1.99$ ).

**Cuadro 1-** Valoración del recurso recreativo para los cuatro incendios considerados

| Incendio      | Impacto medio (€/ha) | Representatividad (%) |
|---------------|----------------------|-----------------------|
| Obejo         | 27.78                | 3.90                  |
| Cerro Vertice | 36.55                | 6.72                  |
| Alhama        | 23.75                | 11.78                 |
| Cerro Catena  | 175.72               | 13.98                 |

## Discusión

La valoración económica mediante la metodología de coste-viaje se presenta como una alternativa para la valoración del recurso recreativo (Riera y otros 1994, Navarrete y González 2003), aunque muy pocas veces haya sido incorporada a las valoraciones de los impactos provocados por los incendios forestales. Este hecho usualmente conduce a una infravaloración de las pérdidas económicas provocadas

por el paso del fuego (Molina y otros 2009). Aunque la metodología puede ser sujeta a numerosas críticas por la selección de la muestra o realización de la misma, creemos que tal como ya anuncio la FAO (1997): "la cuantificación económica de los recursos naturales es útil y relevante sólo hasta el punto en que ayuda a los gestores a tomar decisiones buenas e informadas. Es posible reformar las políticas e instituciones, estimular aprovechamientos de las tierras más sostenibles y desanimar el agotamiento de los recursos naturales inclusive antes de que tengamos datos suficientes de los cuales obtener un valor exacto".

Las diferencias en el valor recreativo anual superiores a los 8 millones de euros entre los dos marcos conceptuales existentes, conducen a la precaución de considerar un intervalo de incertidumbre en la valoración del recurso recreativo. No obstante, dada la importancia del turismo para el desarrollo rural del área de estudio preventiva, se cree necesaria la incorporación de los costes circunstanciales, puesto que un incendio supondría la reducción de la actividad e incluso cierre de infraestructura, de forma análoga a otros espacios protegidos andaluces (Molina y otros 2009). Aunque su vulnerabilidad recreativa a corto plazo es elevada, dispone de períodos de recuperación no muy elevados dada las adaptaciones al fuego de las especies mediterráneas y a la presencia de gran cantidad de superficie adhesionada (Molina y otros 2011). En este sentido, la vulnerabilidad recreativa total del Parque sólo se ve multiplicada por 7, es decir un período medio de recuperación de unos 7-8 años en el conjunto del espacio.

La inclusión del ratio de depreciación a partir de un valor medio de la longitud de llama, directamente relacionado con la intensidad del fuego (Alexander y Cruz 2012), responde a la sencillez y dinamicidad requerida por los gestores forestales encargados de las valoraciones post-fuego. La longitud de llama constituye el parámetro de más fácil identificación in-situ (Zamora y otros 2010), con objeto de ajustar ratios de daño o depreciación. Esta ecuación permite el uso del proceso metodológico propuesto, tanto para un uso preventivo (comportamiento potencial a través de simulaciones) como para un uso post-fuego. El empleo preventivo puede constituir una herramienta de gran utilidad para la planificación a escala de paisaje y la asignación presupuestaria, con objeto de la mitigación del impacto provocado por las llamas. Por su parte, el empleo para las valoraciones de grandes incendios puede ser complementado con imágenes de satélite (Rodríguez y Silva y otros 2013).

El análisis del impacto recreativo de los cuatro incendios refleja la importancia que este recurso constituye para los espacios naturales protegidos (incendio de Cerro Catena), así como en áreas circundantes a núcleos urbanos (incendio de Alhama). En estos casos, su importancia es superior al 10% del impacto total, condicionando a una infravaloración importante de las pérdidas, ante su ausencia en la valoración. De igual forma, destaca el alto valor por unidad de superficie del incendio de Cerro

Catena (175.72 €), muy por encima al resto de incendios, aunque sin embargo no supone un incremento proporcional sobre la importancia relativa del recurso (sólo 13,98%). Este hecho puede ser condicionado por la importancia del recurso madera, la fijación de dióxido de carbono y la protección de la erosión en espacios naturales protegidos. El alto porcentaje relativo del ocio y recreo en el incendio de Alhama responde a la ausencia de vegetación arbórea de importancia (no adquiere importancia los productos madereros ni la fijación de carbono), a la infraestructura presente y a la cercanía a núcleos urbanos. Finalmente, el mayor peso del recurso en el incendio de Cerro Vértice responde tanto a la presencia de mayor cantidad de vegetación arbórea como a su cercanía a una carretera nacional.

## Conclusiones

Dada la falta de rentabilidad de los bosques mediterráneos, que está motivando el abandono del medio rural, resulta fundamental la valoración integral de los recursos naturales. Los responsables de manejo del fuego deben ser responsables y conocedores de la necesidad de incorporar todos los impactos provocados por el fuego a las valoraciones, más cuando influyen directamente sobre la población circundante. Su importancia se acentúa en espacios naturales protegidos o juntos a núcleos urbanos, superando el 10% de las pérdidas totales. De igual forma, no se puede obviar las capacidades operacionales que brinda la disponibilidad de cartografía preventiva para la toma de decisiones y la asignación presupuestaria.

## Agradecimientos

Los autores han realizado el trabajo, gracias a la financiación de un proyecto público del Ministerio de Ciencia e Innovación, denominado Proyecto GEPRIF (RTA2014-00011-C06-01).

## Referencias

- Alexander, M., Cruz, M.**, 2012. Interdependencies between flame length and fireline intensity in predicting crown fire initiation and crown scorch height. *International Journal of Wildland Fire* 21, 95-113.
- Azqueta, D.**, 1996. Métodos para la determinación de la demanda de servicios recreativos de los espacios naturales. En: Azqueta, D. y Pérez L. (Eds.). *Gestión de espacios naturales. La demanda de servicios recreativos*. McGraw-Hill. Madrid.
- Christie, M., Hanley, N., Warren, J., Murphy, K., Wright, R., Hyde, T.**, 2006. Valuing the diversity of biodiversity. *Ecological Modelling* 58, 304-317.
- Gutiérrez, M.**, 2008. ¿Cuánto cuesta ir al trabajo? El coste en tiempo y en dinero. Fundación La Caixa. Documentos de Economía de la Caixa. Barcelona, Cataluña.

- Haab, T.C., McConell, K.E.,** 2002. Valuing Environmental and Natural Resources. Cheltenham UK; Edward Elgar.
- Kerkvliet, J., Nowell, C.,** 2000. Tools for recreation management in parks: the case of greater Yellowstone's blue ribbon fishery. *Ecological Economics* 34, 89-100.
- Lasanta, T., González Higaldo, J.C., Vicente Serrano, S.M., Sferi E.,** 2006. Using landscape ecology to evaluate an alternative management scenario in abandoned Mediterranean mountain areas. *Landscape Urban Planning* 78(1), 101-114.
- Molina, J.R., Rodríguez y Silva, F., Herrera M.A., Zamora R.,** 2009. A Simulation Tool for Socio-Economic Planning on Forest Fire Suppression Management. In: Columbus, F. (Ed.). *Forest Fires: Detection, Suppression, and Prevention*. Nova Science Publishers; 33-88.
- Molina, J.R., Herrera, M.A., Zamora, R., Rodríguez y Silva, F., González-Cabán, A.,** 2011. Economic losses to Iberian swine production from forest fires. *Forest Policy Econ* 13, 614-621.
- Molina, J.R., Rodríguez y Silva, F., Herrera, M.A.,** 2016. Integrating economic landscape valuation into Mediterranean territorial planning. *Environmental Science & Policy* 56, 120-128.
- Navarrete, J., González, J.,** 2003. Valorando las Áreas Protegidas. *Visión Net*. Madrid.
- Riera, P., Descalzi, C., Ruiz, A.,** 1994. El valor de los espacios de interés natural en España. Aplicación de los métodos de valoración contingente y el coste de desplazamiento. *Revista de Economía Española. Monográfico Recursos Naturales y Medio Ambiente*.
- Rodríguez y Silva, F., González-Cabán, A.,** 2010. "SINAMI": a tool for the economic evaluation of forest FIRE management programs in Mediterranean ecosystems. *International Journal of Wildland Fire* 19, 927-936.
- Rodríguez y Silva F., Molina J.R., Castillo M.,** 2013. Aproximación Metodológica Para la Evaluación del Impacto Económico de los Incendios Forestales, Mediante el Uso de Teledetección Espacial, Aplicación Mediante el Uso de Imágenes Modis. *General Technical Report PSW-GTR 245*, 305-319.
- Wolff, H.,** 2014. Value of time: Speeding behavior and gasoline prices. *Journal of Environmental Economics and Management* 71-88.
- Zamora, R., Molina-Martínez, J.R., Herrera, M.A., Rodríguez y Silva, F.,** 2010. A model for wildfire prevention planning in game resources. *Ecological Modelling* 221, 19-26.

# Talleres Participativos con Expertos Sobre Ambientes de Fuego en México para Generar Información de Camas de Combustibles Forestales<sup>1</sup>

**Héctor Leonardo Martínez-Torres<sup>2</sup>, Karla Argelia Ocegüera-Salazar<sup>1</sup>, Erika Garduño-Mendoza<sup>1</sup>, Teodoro Carlón-Allende<sup>1</sup>, Enrique Jardel-Pelaez<sup>3</sup>, Shatya D. Quintero-Gradilla<sup>2</sup>, Juan Manuel Rodríguez<sup>2</sup>, Martina Cruz-Zamora, Diego R. Pérez-Salicrup<sup>1</sup>**

## Resumen

La generación de información sobre ambientes del fuego y camas de combustibles forestales es fundamental para conocer el comportamiento de los incendios forestales. Desarrollar modelos experimentales en laboratorios puede ser costoso y tardado. Una alternativa es aprovechar el conocimiento empírico de personas con experiencia en el manejo del fuego y combate de incendios forestales. Con el objetivo de recuperar información empírica sobre el ambiente de fuego para evaluar y describir las camas de combustibles forestales en los diferentes ecosistemas de México, se llevaron a cabo cuatro talleres participativos. Estos talleres se llevaron a cabo en cuatro sedes que abarcaron las regiones Norte, Centro, Occidente y Sur de México durante el mes de agosto del 2016. Se invitó a expertos del manejo de fuego, principalmente combatientes de incendios forestales con varios años de experiencia. Durante los talleres se presentó una propuesta teórica de mapa de camas de combustibles forestales (CCF) para México. En base a dicho mapa de CCF los expertos contestaron, en mesas de trabajo de grupos de tres a siete personas, un cuestionario que buscaba describir la CCF, el comportamiento del fuego, un índice empírico de comportamiento del fuego, topografía y tiempo atmosférico. Se contó con la participación de 108 expertos en el manejo y combate de incendios en los cuatro talleres. En total los participantes sumaron 1385 años de experiencia en el tema. Principalmente se contó con la participación de combatientes de incendios forestales, pertenecientes a dependencias del gobierno Federal. También hubo representantes de Universidades y centros de investigación, Organizaciones de la Sociedad Civil y empresa privada. Los participantes proporcionaron

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de los Incendios Forestales: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras. Solo el resumen disponible.

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>3</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales-IMECBIO, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara.

información para 55 camas de combustibles forestales e identificaron polígonos de riesgo y peligro de incendios forestales en 30 Estados del país. Por el momento se encuentra en la fase de sistematización y análisis de los resultados de los talleres, mismos que serán útiles para comparar con los modelos teóricos de comportamiento del fuego y de modelos de riesgos y peligros.

# La Influencia del Cambio Climático en la Vegetación Arbórea: Caso Parque Nacional “Cerro Azul” Meambar (PANACAM), Honduras<sup>1</sup>

Luis Bejarano<sup>2</sup>, Antonio Chavarría<sup>3</sup>

## Resumen

Se evaluó la vegetación arbórea mediante el establecimiento de 14 Parcelas Permanentes de Monitoreo (PPM) en el Parque Nacional “Cerro Azul” Meambar (PANACAM) ubicado en la zona central de Honduras. Las parcelas fueron distribuidas en cuatro pisos altitudinales (900 – 1,200; 1,200 – 1,500; 1,500 – 1,800 y 1,800 – 2,080 msnm) en donde se midieron un total de 1,896 individuos pertenecientes a 231 especies, 135 géneros y 69 familias. No se encontraron diferencias significativas para la riqueza, diversidad y estructura entre los pisos altitudinales; sin embargo, si existe una baja similitud en la composición de especies entre los pisos, donde los que mostraron mayor similitud comparten solamente el 29% de las especies. Las pruebas de correlación mostraron que la composición está mayormente correlacionada a la precipitación media anual seguida por la temperatura del mes más frío y la elevación. Por otro lado, no se encontraron correlaciones con la precipitación del mes más seco, pendiente y coordenadas geográficas. Las modelaciones proyectadas al 2050 utilizando los escenarios de emisiones, uno optimista (B1) y otro pesimista (A2) del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), mostraron que existe una alta probabilidad de reducir las poblaciones vegetales debido al cambio proyectado en las variables climáticas en estudio. El escenario A2, es el que mayor impacto tiene en el recambio de áreas con presencia de especies, el cual muestra una pérdida de 300 has de 9,200 has modeladas, siendo las áreas con mayor elevación las más afectadas. A pesar que no existió una diferencia significativa para la estructura, riqueza y diversidad a lo largo del gradiente altitudinal, se considera que la elevación es un factor determinante en la composición ya que los pisos altitudinales que presentaron la mayor similitud fueron aquellos que se encontraban en forma continua, no así los que poseían una diferencia altitudinal mayor. Los pisos continuos compartieron hasta un 29% de las especies,

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Incendios Forestales: Servicios Ambientales e Incendio Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras. Solo el resumen disponible.

<sup>2</sup> Docente Investigador, Universidad Nacional Forestal (UNACIFOR), Colonia Las Américas, Apartado Postal #2, Siguatepeque, Comayagua, Honduras 1211-0002; email: luis.bejarano88@yahoo.com.

<sup>3</sup> M.Sc. en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales, Turrialba, CR, CATIE. 2010. Email: chavarr@catie.ac.cr.

sin embargo, los pisos de mayor diferencia de elevación solamente compartieron el 7% de las especies.

# El Rol de los Pueblos Originarios en el Manejo de Desastres Naturales<sup>1</sup>

**Arnaldo Bueso<sup>2</sup>**

## **Resumen**

El rol protagónico de los pueblos originarios en el manejo de desastres naturales en el marco del Programa “Promoción de la Seguridad Alimentaria e Inclusión Social en la Región Lempa del país” en el occidente Honduras.

- Acciones encaminadas a reducir el riesgo inminente para los bosques remanentes y las poblaciones más vulnerables debido al “Desastre Natural” ocasionado por los incendios y las plagas.
- La participación de actores claves como los pueblos originarios, el gobierno, la sociedad civil, la empresa privada y la cooperación internacional en el manejo de fuegos.
- Sistematización de La experiencia del Programa PROSADE LEMPA Seguridad Alimentaria e Inclusión Social de las poblaciones vulnerables más afectadas por desastres naturales.

## **Breve descripción del Programa**

El programa es ejecutado por CARE Internacional beneficiando alrededor de 40 mil personas que comprenden las 4 mancomunidades de la Región Lempa de Honduras.

En estas mancomunidades están representadas y priorizadas la Asociación de municipios de la Frontera de Intibucá (ANFI), la mancomunidad de los municipios de San Andrés, San Francisco, Erandique y Gualcince Lempira (CAFEG, MOCLEMPA y MANCOSOL).

El objetivo principal de este nuevo proyecto PROSADE–LEMPA, es el de erradicar las condiciones de exclusión, vulnerabilidad y la pobreza extrema en Honduras, por lo que, las intervenciones se enfocarán en mujeres productoras agrícolas a pequeña escala y que no se benefician equitativamente del crecimiento económico de las sociedades, además de los pueblos indígenas lenças.

Son beneficiados directamente 252 comunidades, 23 municipios, dos departamentos y 7,560 familias lo que equivale aproximadamente a 40 mil personas.

La implementación de este nuevo programa innovador se realiza bajo los componentes de disponibilidad y acceso de alimentos, salud mejorada con buenas prácticas de higiene y

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Quinto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Incendios Forestales: Servicios ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras. Solo el resumen disponible.

<sup>2</sup> Director Ejecutivo, CARE Internacional, Honduras

saneamiento, en la gobernabilidad de la seguridad alimentaria y sistema de alerta temprana por sequía y en la ayuda humanitaria.

This publication is available online at [www.fs.fed.us/psw/](http://www.fs.fed.us/psw/).

Pacific Southwest Research Station  
800 Buchanan Street  
Albany, CA 94710



Federal Recycling Program  
Printed on Recycled Paper