



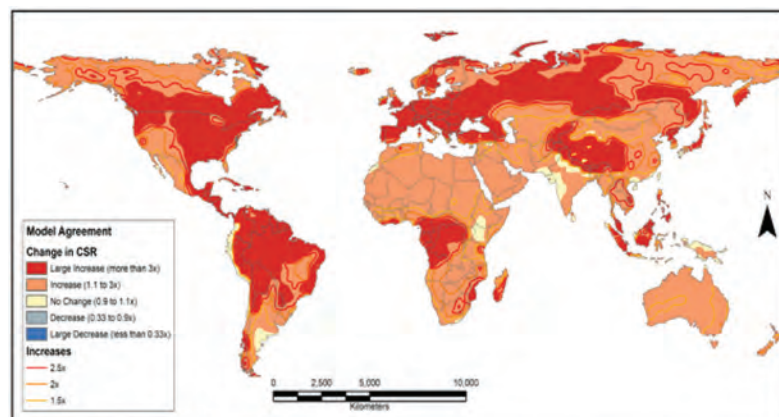
United States Department of Agriculture
Forest Service

Pacific Southwest
Research Station

Informe Técnico
General
PSW-GTR-245
(Spanish)

Agosto 2013

Memorias del Cuarto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación, y Economía de los Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales



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, sexo, identidad de género, religión, revanchismo, y cuando sea aplicable, convicciones políticas, condición civil, condición familiar, condición de paternidad, preferencia sexual, o porque una parte o todo el sustento económico de la persona provenga de programas de beneficencia pública, o de información genética protegida, o en cualquier programa o actividad financiada o llevada a cabo por el Departamento (no todas las prohibiciones aplican a todos los programas y/o actividades del empleo).

Si desea someter una querrela de empleo usted debe contactar a su consejero sobre Oportunidades de Igualdad de Empleo (EEO, siglas en inglés) dentro de 45 días a partir de la fecha de ocurrencia del alegado acto o evento discriminatorio, o en el caso de una acción de personal. Para información visite la siguiente página cibernética:
http://www.ascr.usda.gov/complaint_filing_file.html.

Si desea someter una querrela de discriminación bajo el Programa de Derechos Civiles, por favor complete el Formulario de Querrela de Discriminación (PDF); que puede encontrar en la página cibernética: http://www.ascr.usda.gov/complaint_filing_cust.html, o en cualquier oficina del USDA o llamando al (866) 632-9992 para pedir el formulario. Si quiere puede también puede escribir una carta con toda la información del formulario. Envíe su formulario completo o carta por correo a la siguiente dirección: U.S. Department of Agriculture, Director, Office of Adjudication, 1400 Independence Avenue, S.W., Washington, D.C. 20250-9410, o por fax al (202) 690-7442 o correo electrónico a: program.intake@usda.gov.

Para personas sordas o con impedimentos auditivos, o que tienen discapacidad del habla y quieran someter una querrela sobre EEO u otro programa, pueden contactar al USDA a través del Servicio Federal de Relevó (FRS, siglas en inglés) al (800) 877-8339 o en español al (800) 845-6136). Las personas con discapacidad que quieran someter una querrela sobre otros programas pueden hacerlo usando la información arriba sobre como contactarnos directamente por correo o por correo electrónico. Las personas 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 cualquiera otra información sobre el Programa de Asistencia Suplementaria de Nutrición (SNAP, siglas en inglés), las personas deben contactar a la línea especial del Programa USDA SNAP, en inglés o español, al (800) 221-5689, o llamar a los números especiales de los estados para información.

Para cualquiera otra información no relacionada con derechos civiles por favor vea la lista del USDA.

Coordinador Técnico

Armando González-Cabán es Economista Investigador, 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 Cuarto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de los Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales

Armando González-Cabán
Coordinador Técnico

Departamento de Agricultura de los EE.UU., Servicio Forestal
Estación de Investigación del Pacífico Suroeste
Albany, California
Informe Técnico General PSW-GTR-245
Agosto 2013

Resumen

González-Cabán, Armando. 2013. Memorias del cuarto simposio internacional sobre políticas, planificación y economía de los incendios forestales: cambio climático e incendios forestales; 2012 noviembre 5–11; Ciudad de México, México. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-245, (Español). Albany, CA: Departamento de Agricultura de los EE.UU., Servicio Forestal, Estación de Investigación del Pacífico Suroeste. 436 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 cambio climático e incendios forestales: realidad o ilusión?, 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, el tratamiento de combustibles peligrosos, el uso de los incendios forestales y las actividades de extinción de incendios: ¿contribución o reducción de emisiones de gases de efecto invernadero?, 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 el cambio climático y los mega incendios para aportar una posible propuesta de solución. Representantes de agencias internacionales de 18 países con responsabilidad de protección contra incendios forestales presentaron y discutieron sus experiencias sobre estos temas. En el simposio se presentaron 40 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: Cambio climático, economía del fuego, intercambio en el manejo de combustibles, valoración de intangibles, política pública y el manejo de incendios forestales, planificación estratégica de incendios forestales, manejo sustentable del bosque

Prefacio

Durante la primera década 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, ahora 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 y 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 entienden las repercusiones económicas de otras estrategias de manejo. La comparación de la relación costo-efectividad de las quemas prescritas con la de otras estrategias se complica debido a dificultades analíticas. 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. Fuera de América del Norte (Canadá y EE.UU.) y, recientemente de España, es muy poco lo que se ha hecho por analizar las consecuencias económicas de las diferentes alternativas de manejo de incendios. Últimamente 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. Sin embargo, pocos han desarrollado las herramientas necesarias para realizar esta tarea.

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 la desastrosas temporadas de incendios de los años 1994, 1998, 2000 y 2003, señalan la necesidad patente de un foro en el que los responsables de formular la política pública, 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 2007 al 2011 hacen patente la urgencia de retomar el diálogo sobre el tema y buscar soluciones integrales al problema.

En la primavera de 2008 se celebró en Carolina, Puerto Rico, el III Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales para lidiar con los problemas delineados aquí. Desde entonces, sucesos desastrosos en las temporadas de incendios de 2007 al 2011 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) evaluar y analizar la posible relación entre el cambio climático y los incendios forestales, en particular los llamados mega incendios; 4) sopesar los pros y los contras del tratamiento de los combustibles peligrosos y el uso de los incendios forestales versus los gastos de extinción; y 5) compartir los adelantos recientes en los modelos para la planificación estratégica del manejo de incendios forestales.

¡Gracias!

Armando González-Cabán

Ciudad de México, México

Noviembre 5, 2012

Contenidos

- 1 **El Cambio Climático y los Incendios Forestales**
William J. de Groot, Michael D. Flannigan, y Brian J. Stocks
- 13 **SEILAF: Optimización Táctica**
Carlos Abrego Aguilar, F. Javier Romera López, Regina de la Rosa Calancha, y Domingo Villalba Indurria
- 30 **Manejando los Riesgos del Manejo del Riesgo en los Grandes Incendios**
Donald G. MacGregor y Armando González-Cabán
- 40 **Análisis de la Simulación de un Sistema de Extinción de Incendios Forestales**
Abilio Pereira Pacheco, João Claro y Tiago Oliveira
- 57 **La Predicción de la Productividad en las Operaciones de Extinción de Incendios Forestales: Una Aproximación Metodológica Desde el Análisis de la Dificultad de Extinción y el Registro de la Experiencia**
Francisco Rodríguez y Silva y Armando González-Cabán
- 75 **Tratamientos de Combustibles Peligrosos, Impactos de los Costos de Supresión, y Mitigación de Riesgo**
Matthew P. Thompson, Michael S. Hand, Julie W. Gilbertson-Day, Nicole M. Vaillant, y Darek J. Nalle
- 92 **Economía del Manejo de Incendios Forestales: Contabilización Espacial de Costos y Beneficios**
José J. Sánchez, Ken Baerenklau, Armando González-Cabán, y Kurt Schwabe
- 110 **Análisis Económico de la Quema Prescrita Para la Gestión de Incendios en Australia Occidental**
Veronique Florec, David Pennell, Michael Burton, Joel Kelso, Drew Mellor, y George Milne
- 124 **¿Influye La Experiencia Personal en las Preferencias Basadas en la Elección de los Programas de Protección Contra Incendios Forestales?**
Armando González-Cabán, Thomas P. Holmes, John B. Loomis, y José J. Sánchez
- 142 **Información Económica Sobre el Comportamiento Histórico de los Incendios Forestales en los Bosques en el Estado de Paraná, Brasil**
Vitor Alfonso Hoeflich, Alexandre França Tetto, y Antonio Carlo Batista
- 155 **Impacto de los Incendios Forestales Sobre el Hábitat de la Avifauna en un Bosque de Encino-Pino en Puebla, México**
Laura P. Ponce-Calderón, Dante A. Rodríguez-Trejo, Beatriz C. Aguilar-Váldez, y Elvia López-Pérez
- 163 **Colas Gruesas Catastróficas y Funciones de Daños no Uniformes: Economía de Incendios Forestales y Adaptación al Cambio Climático Para la Política Pública**
Adriana Keating y John Handmer

- 168 **Metodología Utilizada en Cuba para Estimar las Pérdidas Económicas Producidas por los Incendios Forestales**
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Raúl González Rodríguez
- 180 **VISUAL-SEVEIF, Una Herramienta Para la Integración de la Simulación del Comportamiento del Fuego y la Evaluación Económica del Impacto de los Incendios Forestales**
Francisco Rodríguez y Silva, Juan Ramón Molina Martínez, Miguel Ángel Herrera Machuca, y Jesús M^a Rodríguez Leal
- 197 **Combate de los Incendios Forestales en Brasil**
Jose Carlo Mendes de Morais
- 209 **Mega Incendio Forestal en la Reserva Mundial de la Biosfera (UNESCO), Parque Nacional Torres del Paine, Patagonia - Chile 2012: Una Experiencia de Trabajo en Condiciones de Comportamiento Extremo en el Contexto del Calentamiento Global**
René Cifuentes Medina
- 221 **Patrones de Distribución Espacio Temporal de los Incendios Forestales en el Norte de México**
Gustavo Pérez-Verdín, M. A. Márquez-Linares, A. Cortes-Ortiz, y M. Salmerón-Macías
- 233 **Distribución Espacial de los Valores de Mercado y de No Mercado en el Manejo de los Incendios Forestales en Áreas Naturales: Un Estudio de Caso**
John W. Benoit, Armando González-Cabán, Francis M. Fujioka, Shyh-Chin Chen, y José J. Sanchez
- 246 **Cambio Climático y su Relación con los Ecosistemas de Incendios**
Bongani Finiza
- 257 **Gestión de Uso Recreativo y los Incendios Forestales en el Sur de California: El Uso de SIG y Modelos de Simulación Visual de Paisaje Para Evaluación Económica**
Daniel Moya, Armando González-Cabán, José J. Sánchez, y José de las Heras
- 268 **Manejo Adaptativo de Incendios Forestales en las Zonas Periurbanas en el Distrito Federal, Brasil: Un Estudio de Caso de la Comunidad Rural de Valle de Urubu**
Gabriel Zacharias y Renata Marson Teixeira de Andrade
- 278 **Evaluación de la Inflamabilidad de Árboles y Arbustos Utilizados en la Implementación de Barreras Verdes en el Sur del Brasil**
Antonio Carlos Batista, Daniela Biondi, Alexandre França Tetto, Rafaela de Assunção; Andressa Tres, Raquel Costa Chiao Travenisk, y Bruna Kovalsyki
- 287 **Una Comunidad de la Interfaz Urbana Forestal**
María Cecilia Ciampoli Halaman
- 297 **Modelación de la Carga de Combustibles a Partir de Atributos Dasométricos en Bosques Templados del Norte de México**
Maricela Morales-Soto y Marín Pompa-García

- 305 **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**
Francisco Rodríguez y Silva, Juan Ramón Molina Martínez, y Miguel Castillo Soto
- 320 **Evaluación de la Diversidad Estructural Post-Incendio Usando Parámetros de Vecindad en la Sierra Madre Oriental, México**
Diana Yemilet Ávila Flores, Marco Aurelio González Tagle, Javier Jiménez Pérez, Oscar Aguirre Calderón, y Eduardo Treviño Garza
- 328 **Aptitud Territorial Para Establecer Sistemas de Captación del Agua de Lluvia Contra Incendios Forestales**
José María León Villalobos, Manuel Anaya Garduño, Enrique Ojeda Trejo, Dante Arturo Rodríguez Trejo, José Luis Oropeza Mota, y Jorge Luis García Rodríguez
- 337 **Cultura del Fuego y Educación Ambiental en Áreas Proclives a Incendios Forestales: Situación Actual en España**
Clara Quesada-Fernández y Daniel Quesada-Fernández
- 351 **Riesgo de Incendios en los Patrones Paisajísticos de Carreteras del Estado de Paraná, Brasil – Subsidios Para la Planificación de la Interfaz Urbano-Rural**
Daniela Biondi, Antonio Carlos Batista, y Angeline Martini
- 363 **Avances en Manejo Integral del Fuego en el Centro de México**
Dante Arturo Rodríguez Trejo y Arturo Cruz Reyes
- 382 **Adaptación de la Gestión Frente a Incendios en los Territorios de Riesgo Urbano-Forestal en España**
Gema Herrero-Corral
- 397 **Villaflores: Modelo de Atención Municipal a los Incendios Forestales**
Pedro Martínez Muñoz y Carlos Alberto Velázquez Sanabria
- 410 **Políticas de Manejo de Incendios Forestales en Argelia: Necesidades Presentes y Futuras**
Ouahiba Meddour-Sahar, Armando González-Cabán, Rachid Meddour, y Arezki Derridj
- 426 **Caracterización de Combustibles Forestales Mediante un Muestreo Directo en Plantaciones Forestales**
Eva Reyna Esmeralda Díaz García, Marco Aurelio González Tagle, Javier Jiménez Pérez, Eduardo Javier Treviño Garza, y Diana Yemilet Ávila Flores

El Cambio Climático y los Incendios Forestales¹

William J. de Groot², Michael D. Flannigan³, y Brian J. Stocks⁴

Resumen

Los regímenes de incendios forestales son impulsados principalmente por el clima/tiempo atmosférico, los combustibles y las personas. Todos estos factores son dinámicos y sus interacciones variables crean un mosaico de regímenes de incendios alrededor del mundo. El cambio climático tendrá un impacto sustancial sobre los regímenes de incendios futuros en muchas regiones del orbe. Las investigaciones actuales sugieren un aumento general en superficie afectada y ocurrencia de incendios, pero hay una gran variabilidad global. Estudios recientes del tiempo atmosférico futuro para los incendios a nivel global bajo diferentes escenarios de cambio climático utilizando varios Modelos de Circulación General son revisados. Se encontró un aumento generalizado en la severidad del tiempo atmosférico para los incendios futuros en casi todo el orbe, con un aumento en la duración de la temporada de incendios ocurriendo en muchas regiones, especialmente en las latitudes del norte. En la región del bosque boreal, la cual representa alrededor de un tercio de la cubierta forestal mundial, el aumento de la superficie afectada en los últimos cuatro decenios se ha vinculado a temperaturas más altas como resultado del cambio climático inducido por el hombre. Se proyecta que esta tendencia en la región boreal continúe conforme la severidad del tiempo atmosférico para los incendios y la intensidad del fuego aumentarán bruscamente hasta 4-5 veces los valores máximos actuales a finales del siglo. Muchas organizaciones nacionales de manejo del fuego ya operan en un nivel muy alto de eficiencia, y hay un margen muy estrecho entre el éxito y el fracaso de la supresión. Bajo un clima futuro más cálido y más seco, las agencias de manejo del fuego serán desafiadas por las condiciones de tiempo atmosférico para los incendios que podrían presionar la capacidad actual de la

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales; noviembre 5-11 de 2012; Ciudad de México, México.

² Natural Resources Canada – Canadian Forest Service, 1219 Queen Street East, Sault Ste. Marie, ON Canada P6B6H6 bill.degroot@nrcan.gc.ca

³ University of Alberta, Dept. of Renewable Resources, 713A General Services Building, Edmonton, AB Canada T6G 2H1 mike.flannigan@ualberta.ca

⁴ B.J. Stocks Wildfire Investigations Ltd., 128 Chambers Ave., Sault Ste. Marie, ON Canada P6A 4V4 brianstocks@sympatico.ca

supresión más allá del punto de quiebre, resultando en un incremento sustancial en incendios de gran magnitud.

Palabras clave: Escenarios de cambio climático del IPCC, intensidad del fuego, manejo del fuego, modelos de circulación general, severidad del tiempo atmosférico para los incendios

Introducción

Los incendios forestales afectan 330-431 M de hectáreas de vegetación global cada año (Giglio y otros 2010). Alrededor del 86% de los incendios forestales ocurren en praderas tropicales y sabanas, y el 11% en bosques (Mouillot y Field 2005). Hay evidencia de carbón que los incendios del orbe han aumentado desde el último máximo glacial alrededor de hace 21,000 años, con mayor heterogeneidad espacial durante los últimos 12,000 años (Power y otros 2008). Durante el último milenio, el régimen global de los incendios globales parece haber sido fuertemente impulsado por la precipitación, y cambió a un régimen impulsado antropogénicamente durante la Revolución Industrial (Pechony y Shindell 2010). En las últimas décadas, existe evidencia de una mayor superficie afectada y la creciente severidad de los incendios en muchas regiones diferentes del mundo (Pyne 2001, FAO 2007, Bowman 2009). Existen diversas razones para los aumentos regionales en la actividad de los incendios forestales, pero los factores principales son los combustibles, el clima-tiempo atmosférico, los agentes de ignición, y las personas (Flannigan y otros 2005, 2009b). En el futuro, se espera que los regímenes de incendios sean impulsados por la temperatura (Gillett y otros 2004, Pechony y Shindell 2010), con condiciones más cálidas y temporadas de incendios más largas conduciendo a una mayor área afectada y ocurrencia de incendios (Flannigan y otros 2009b). Sin embargo, una revisión de los trabajos de investigación globales mostró resultados mixtos para la severidad y la intensidad del fuego (Flannigan y otros 2009a). En la región del bosque boreal, la cual representa alrededor de un tercio de la cubierta forestal mundial, los registros de los incendios documentan mayor actividad de incendios en las últimas décadas (Stocks y otros 2003, Kasischke y Turetsky 2006) debido al aumento de temperatura (Westerling y otros 2006). Bajo los escenarios actuales de cambio climático, se espera que el aumento de la temperatura sea mayor en latitudes septentrionales (IPCC 2007). Por esa razón, se espera que la región de los bosques boreales experimente los incrementos en la actividad de incendios forestales más tempranos y mayores bajo el cambio climático futuro. El propósito de este trabajo es resumir las investigaciones recientes sobre los futuros regímenes de incendios globales, los impactos resultantes sobre el comportamiento del fuego en los bosques boreales circumpolares y las implicaciones para el manejo de incendios.

Regímenes futuros de incendios del orbe

En un estudio reciente de futuros incendios forestales globales (Flannigan y otros 2013), la influencia potencial del cambio climático sobre la duración y la severidad de la temporada de incendios fue examinada comparando tres Modelos de Circulación General (MCG) y tres posibles escenarios de emisiones (nueve combinaciones de escenarios de emisiones MCG). Los modelos utilizados en el estudio fueron: 1) el CGCM3.1 del *Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis*, 2) el HadCM3 del *Hadley Centre for Climate Prediction* en el Reino Unido, y 3) el IPSL-CM4 de Francia. Los modelos fueron seleccionados para proporcionar una gama de condiciones esperadas de calentamiento futuro. Hay cuatro argumentos de escenarios de emisiones (A1, A2, B1 y B2) que establecen una dirección definida de desarrollo mundial hacia finales de este siglo (IPCC 2000). El estudio de Flannigan y otros (2013) utilizó los siguientes tres escenarios: A1B, representando un mundo de crecimiento económico muy rápido con la población mundial alcanzando un máximo a mediados de siglo, rápido desarrollo de tecnología eficiente y un uso equilibrado de las fuentes combustibles fósiles y no fósiles; A2, representando un mundo de crecimiento aumentado de la población, lento desarrollo económico y lento cambio tecnológico (escenario del negocio como es usual); y B1, representando la misma población que A1, pero más rápido cambio en la estructura económica, y dirigiéndose hacia las tecnologías del servicio y de la información.

Los escenarios de emisiones MCG se utilizaron para calcular las condiciones de tiempo atmosférico para los incendios durante el próximo siglo. Los datos de tiempo atmosférico para los incendios (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, precipitación de 24 horas) se utilizaron para calcular los valores diarios de los componentes del Sistema del Índice de Tiempo Atmosférico para los Incendios Forestales Canadiense (ITAIF) (Van Wagner 1987). La duración de la temporada de incendios se calculó utilizando un enfoque de temperatura, con el inicio de la temporada de incendios definida como tres días consecutivos de 9° C o mayor, y el fin de la temporada de incendios por tres días consecutivos de 2° C o inferior. La severidad del fuego se calculó utilizando la Clasificación de Severidad Diaria (CSD), la cual representa la creciente dificultad de control en tanto un incendio crece (Van Wagner 1970) y es una simple función de potencia del componente del Índice del Tiempo Atmosférico para los Incendios del sistema ITAIF. En el estudio de Flannigan y otros (2013), los cambios en la severidad de los incendios se midieron utilizando la Clasificación de la Severidad Acumulativa (CSA), que fue la suma de los valores CSD durante la temporada de incendios dividido por la duración de la temporada de incendios. De esta manera, la CSA fue una versión reducida de la duración estacional de la CSD. Los cambios en la futura duración de la temporada de

incendios y la CSA se resumieron por década como anomalías del periodo 1971-2000 (los resultados sólo se presentaron para mediados y finales de siglo).

Las Figuras 1 y 2 del estudio de Flannigan y otros (2013) muestran ejemplos de CSA para el modelo HadCM3 y el escenario A2 para 2041-2050 y para 2091-2100. Estos ejemplos (Figuras 1 y 2) son representativos de todos los MCG y los mapas de los escenarios que muestran un aumento significativo a nivel mundial en CSA, especialmente en el hemisferio norte. Con estos aumentos, esperamos mayor superficie afectada, mayor ocurrencia de incendios y mayor intensidad de fuego que resultarán en temporadas de incendios más graves y mayor dificultad de control de incendios.

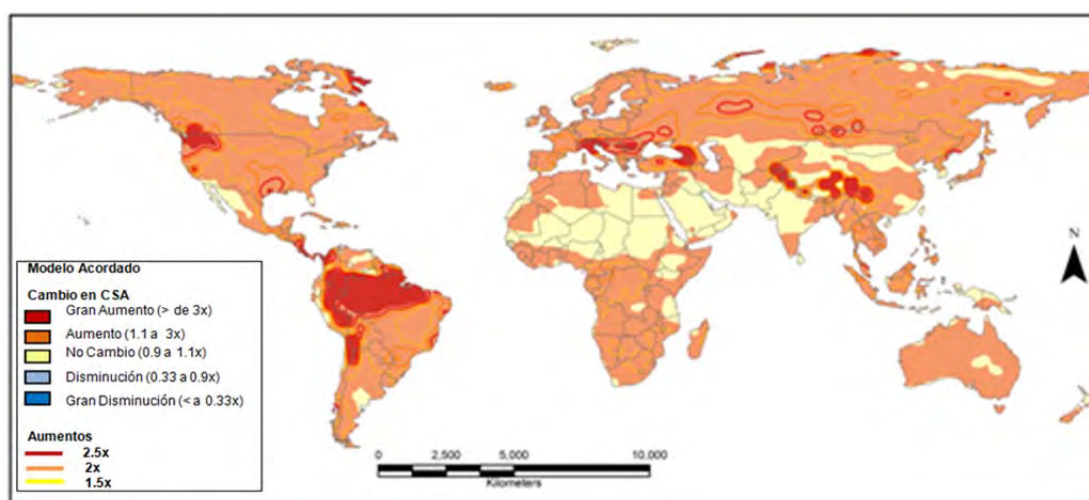


Figura 1—Las anomalías de la Clasificación de la Severidad Acumulativa para el escenario HadCM3 A2 para 2041-2050 en relación con el período base 1971-2000.

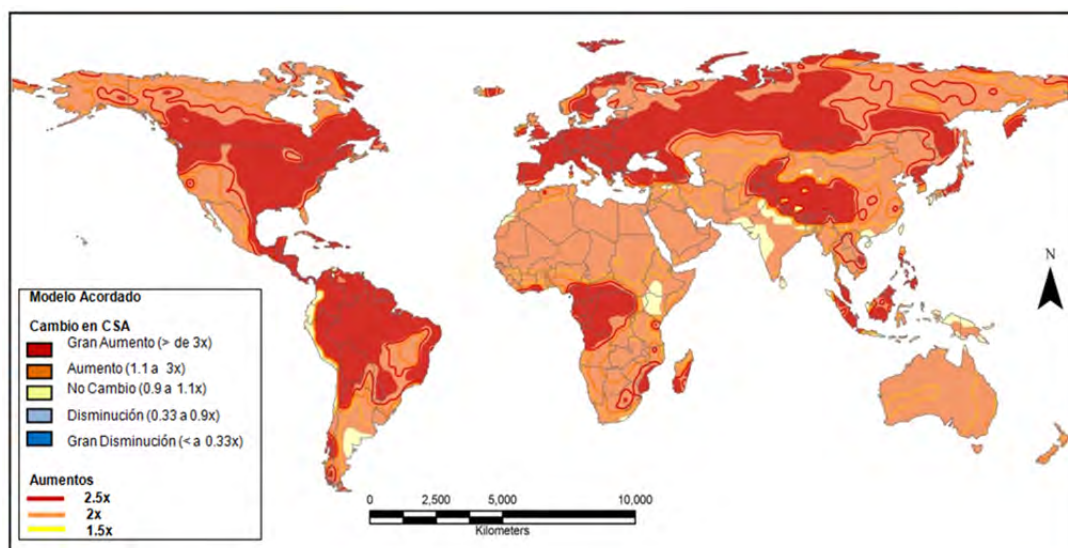


Figura 2—Las anomalías de la Clasificación de la Severidad Acumulativa para el escenario HadCM3 A2 para 2091-2100 en relación con el período base 1971-2000.

Regímenes futuros de incendios boreales

Hay varios estudios que indican una tendencia creciente en la superficie afectada en toda la zona boreal de América del Norte durante las últimas décadas (Podur y otros 2002, Kasischke y Turetsky 2006), que está estrechamente alineada con una tendencia al aumento de la temperatura, y es un resultado de cambio climático inducido por el hombre (Gillett y otros 2004). Una tendencia alcista de la temperatura se espera que continúe en las latitudes septentrionales en tanto el cambio climático avanza. Los regímenes de los incendios de los bosques boreales del norte circumpolar están cambiando rápidamente y continuarán haciéndolo, y puede servir como un indicador temprano de un posible cambio en otros regímenes de incendios globales. El bosque boreal cubre 1.35 billones de ha, representando alrededor de un tercio de la cubierta forestal mundial (Brandt 2009, FAO 2001). Hay un promedio de 9 millones de ha (entre 4 y 18 millones de ha) afectadas anualmente en la región del bosque boreal (Giglio y otros 2010). Un cambio en los regímenes de incendios boreales puede tener un impacto sustancial sobre los gases atmosféricos de efecto invernadero debido a que la zona boreal es la fuente del 9% ($182 \text{ Tg C año}^{-1}$) de las emisiones de carbono de los incendios forestales a nivel mundial (van der Werf y otros 2010).

Más del 70% del bosque boreal se encuentra en Eurasia, y el resto en América del Norte. Aunque el bosque boreal está representado principalmente por *Pinus*, *Picea*, *Larix*, *Abies*, *Populus* y *Betula* spp. a lo largo de toda la región boscosa, hay una clara diferencia en los regímenes de incendios continentales. Esta dicotomía en

los regímenes de incendios se debe en gran parte a diferencias en la composición forestal y la morfología de las especies de árboles, y la influencia de dichas características en el régimen de incendios. La principal diferencia entre los dos continentes es que el bosque boreal de América del Norte está dominado por *Picea* y *Abies* (44% del área) y *Pinus* (22%), que tienen follaje altamente inflamable y, ya sea un hábito de baja ramificación (*Picea*, *Abies*) o una relativamente baja altura de la base de la copa viva (*Pinus*) que promueven los incendios de copa. En el norte de Asia, el bosque boreal está dominado por *Larix* (30%), que tiene follaje con alto contenido de humedad, y especies de crecimiento relativamente alto de *Pinus* (28%), que tienen mayor altura en la base de la copa viva; ambos factores reducen sustancialmente la ocurrencia de los incendios de copas en el norte de Asia.

Un estudio reciente de modelación comparando los regímenes de incendios boreales en el oeste de Canadá y Siberia central (de Groot y otros 2012a) indica que hay muchos más grandes incendios (> 200 ha) que se producen en el norte de Asia que en América del Norte. Por lo tanto, hay una tasa mucho más elevada de superficie afectada al año, y un intervalo medio de retorno del fuego más bajo en el norte de Asia (1.89 M de hectáreas por 100 millones de hectáreas de tierras forestales; IMRF = 53 años) que en el oeste de América del Norte (0.56 M de hectáreas por 100 M de hectáreas de tierras forestales; IMRF = 180 años). Sin embargo, el tamaño medio de incendios de magnitud en el oeste de América del Norte (5930 ha) es mucho mayor que en el norte de Asia (1312 ha). La mayoría de los incendios en los bosques boreales de América del Norte se producen como incendios de copa (57%), lo que parece estar limitada por la cantidad total de la cubierta de coníferas (63% del área de estudio de de Groot y otros 2012a). En el norte de Asia, sólo el 6% de los incendios de gran magnitud se produjeron como incendios de copa en el área del estudio de de Groot y otros (2012A), debido a que dos terceras partes del área de estudio están cubiertas por tipos de combustibles sin copas (*Betula*, *Larix*, *Populus*) y mayores alturas medias de la base de copa viva para las especies susceptibles al fuego de la copa (*Pinus sibirica*, *Pinus sylvestris*). Como resultado, los regímenes de incendios norteamericanos están típicamente dominados por esporádicos incendios de copa con rápida propagación y muy alta intensidad, y los regímenes de incendios del norte de Asia se caracterizan por los incendios de superficie relativamente frecuente y de intensidad moderada a alta. Aunque hay una mayor tasa de emisiones de carbono (t/ha) en los incendios boreales de América del Norte debido en parte a un mayor consumo de combustibles de copa, hay un total de emisiones de carbono mucho más elevadas de los incendios forestales en el Asia boreal (128 Tg C año⁻¹, frente a 54 Tg C año⁻¹ en América del Norte), debido a una tasa anual mucho más alta de área afectada y una mayor área de bosque total.

Un estudio de seguimiento realizado por de Groot y otros (2012b) examinó el impacto del cambio climático en estos regímenes de incendios boreales circumpolares. Futuros regímenes de incendios boreales se simularon con los MCG de CGCM3.1, HadCM3 e IPSL-CM4 y los escenarios A1B, A2 y B1, utilizando los mismos procedimientos que Flannigan y otros (2013). Los datos resultantes del tiempo atmosférico para los incendios y los parámetros del sistema ICIF se utilizaron en el Modelo Canadiense de los Efectos del Fuego (CanFIRE, de Groot 2006, 2010) para simular el comportamiento de los incendios esperado en el futuro y las emisiones de carbono. Los resultados mostraron que la severidad del tiempo atmosférico para los incendios se incrementó en toda la región boreal circumpolar, y que el CSD y las intensidades del fuego a favor del viento también incrementaron, aunque las condiciones fueron un poco más extremas en América del Norte. Todos estos parámetros indican que habrá una mayor dificultad en el control de los futuros incendios forestales a través del bosque boreal. Los tres MCG mostraron un acuerdo general en las tendencias a largo plazo de la creciente severidad del tiempo atmosférico para los incendios y la actividad del comportamiento del fuego, pero los modelos Hadley e IPSL en particular indican condiciones de quema que superan por mucho a las condiciones actuales. A finales del siglo 21, todas las combinaciones de MCG y escenarios indicaron que el promedio mensual de las intensidades del fuego a favor del viento superará la capacidad de supresión de los aviones apaga fuegos en la mayoría de los meses de la temporada de incendios (abril a septiembre) en toda la región boreal; los modelos IPSL y Hadley indican que este umbral de supresión será superado en todos los meses de abril a octubre. Los resultados del estudio de de Groot y otros (2012b), junto con la creciente duración de la temporada de incendios en la región boreal encontrada por Flannigan y otros (2013) y otros estudios que sugieren que la superficie afectada anual podría incrementarse 2–5.5 veces en Norteamérica boreal (Flannigan y otros 2005, Balshi y otros, 2009) y creciente actividad de incendios en Rusia (Dixon y Krankina 1993, Stocks y otros 1998), indican que habrá una enorme y creciente demanda en el manejo del fuego en el futuro, independientemente del escenario de cambio climático.

El cambio climático y el manejo del fuego

Los modelos actuales de cambio climático coinciden en que habrá mayor severidad del tiempo atmosférico para los incendios en el futuro. Se prevé que ambos la ocurrencia y la severidad de los incendios aumenten, dando lugar a incendios mayores y más superficie afectada, lo cual plantea serias dudas sobre la capacidad de los organismos del manejo de incendios para mitigar efectivamente los impactos futuros de los incendios. Las agencias de manejo de fuego en la actualidad operan

con un margen muy estrecho entre el éxito y el fracaso durante la supresión de los incendios, y un clima más cálido y seco se traduciría en más incendios escapando a los esfuerzos iniciales de supresión y volviéndose grandes (Stocks 1993). Además, dada a la competencia entre demandas fiscales, sería poco probable que los gobiernos proporcionaran los aumentos financieros para mantener los niveles actuales de eficacia.

En un estudio realizado en la región boreal, McAlpine (1998) sugirió que la mayor frecuencia de los años de sequía y fenómenos climáticos extremos, en combinación con temporadas de incendios más largas, aumentaría la actividad de incendios y superficie afectada en Ontario, Canadá. Minimizar los aumentos en la superficie afectada asociados al cambio climático requerirá aumentos significativos de los gastos de manejo del fuego. Estudios de simulación utilizando el sistema de ataque inicial de Ontario (McAlpine y Hirsch 1998) mostraron que la reducción del número de incendios escapados de los niveles actuales requeriría una gran inversión en recursos adicionales, y que los aumentos incrementales en los recursos para suprimir los incendios resultan en ganancias decrecientes en el éxito del ataque inicial. Wotton y Stocks (2006) utilizaron el sistema de simulación de ataque inicial de Ontario en combinación con escenarios de ocurrencia de incendios esperados y el tiempo atmosférico para los incendios para mostrar que una duplicación de los niveles actuales de recursos sería necesaria para cumplir con un incremento modesto de 15% en la carga de fuego (que se basa en el número de incendios y la dificultad de control). Más recientemente, Podur y Wotton (2010) ampliaron este trabajo, combinando escenarios derivados de MCG del futuro tiempo atmosférico para los incendios con un modelo del crecimiento del fuego y de supresión en Ontario. Los resultados indicaron aumentos de entre 2 a 5 veces en superficie afectada durante el próximo siglo, impulsados por un tiempo atmosférico de incendios más frecuente conducente a incendios de gran magnitud y un número cada vez mayor de los incendios que escapan al ataque inicial. El desarrollo reciente de la Estrategia Canadiense de los Incendios Forestales (ECIF), aprobada por el gobierno federal y de las provincias y territorios (CCFM 2005), es en respuesta directa al creciente consenso que las cuestiones de los incendios forestales y de la salud de los bosques impulsados por el cambio climático, junto con la disminución de capacidad de manejo del fuego y una expansión de la interfaz urbano-forestal, se combinarán para crear efectos de fuego sin precedentes a través de Canadá en un futuro próximo. Bajo este escenario, mantener los niveles actuales de éxito de la protección contra los incendios será económica y físicamente imposible, así como ecológicamente indeseable. Un nuevo acoplamiento con el fuego, en el que éste asume su papel natural en más del paisaje canadiense, parece un probable resultado de esta confluencia de factores.

Los incrementos sustanciales en la CSA pronosticados a nivel mundial a través de los escenarios de cambio climático para finales de este siglo son verdaderamente notables para los gerentes de distrito contra incendios forestales. Aumentos de hasta 300% en la CSA, sobre todo en la región circumpolar del norte, plantearán exigencias sin precedentes en los medios de extinción de incendios. Parte del aumento de la CSA se debe a temporadas de incendios más largas (alrededor de 20-30 días); sin embargo la CSD en los días bajos e incluso moderados (los días más frecuentes en la temporada de incendios) es bastante pequeña en relación a los valores de CSD en días altos y extremos, y por lo tanto la gran mayoría del aumento es debido al aumento en la intensidad potencial del fuego y la dificultad de control posterior. La acción de extinción de incendios a menudo falla durante los incendios de copa de alta intensidad (Stocks y otros 2004), y los escenarios de cambio climático de este estudio indican que este tipo de comportamiento del fuego se producirá con mayor frecuencia en el futuro. Muchos países del mundo operan organizaciones de manejo de fuego altamente eficientes que tienen una alta tasa de éxito del control del fuego. Sin embargo, el cambio climático podría causar un aumento desproporcionado de los incendios incontrolados debido a que muchas organizaciones del manejo del fuego ya operan cerca de una eficiencia óptima, por lo que cualquier incremento en la dificultad del control del fuego forzaría a muchos más incendios más allá de un umbral de capacidad de supresión (cf Flannigan y otros 2009b, Podur y Wotton 2010). Tal vez ya estamos experimentando lo que está por venir con los recientes incendios catastróficos en Australia en 2009 y 2012, Rusia en 2010 y en los EE.UU. en 2011 y 2012. El aumento de los incendios forestales en el paisaje en el futuro obligará a las agencias de manejo de fuego a re-evaluar la política y la estrategia. Todas las áreas forestales no pueden ser protegidas contra los incendios, y muchas áreas de alto valor que se manejan con una política de exclusión del fuego se verán amenazadas por los incendios forestales.

Referencias

- Balshi, M.S., McGuire, A.D., Duffy, P., Flannigan, M., Walsh, J., Melillo, J. 2009.** Assessing the response of area burned to changing climate in western boreal North America using a Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) approach. *Global Change Biology* 15, 578-600.
- Bowman, D.M.J.S., Balch, J.K., Artaxo, P., Bond, W.J., Carlson, J.M., Cochrane, M.A., D'Antonio, C.M., DeFries, R.S., Doyle, J.C., Harrison, S.P., Johnston, F.H., Keeley, J.E., Krawchuk, M.A., Kull, C.A., Marston, J.B., Moritz, M.A., Prentice, I.C., Roos, C.I., Scott, A.C., Swetnam, T.W., van der Werf, G.R., Pyne, S.J. 2009.** Fire in the Earth System. *Science* 324, 481-484.
- Brandt, J.P. 2009.** The extent of the North American boreal zone. *Environmental Reviews* 17: 101-161.

- [CCFM] Canadian Council of Forest Ministers. 2005.** Canadian wildland fire strategy: a vision for an innovative and integrated approach to managing the risks. A report to the Canadian Council of Forest Ministers, prepared by the Canadian Wildland Fire Strategy Assistant Deputy Ministers Task Group. Can. For. Serv., North. For. Cent. Edmonton, AB. (http://www.ccfm.org/pdf/Vision_E_web.pdf)
- de Groot, W.J. 2006.** Modeling Canadian wildland fire carbon emissions with the Boreal Fire Effects (BORFIRE) model. In: Viegas, D.X. (Ed.), 5th International Conference on Forest Fire Research. Elsevier, Figueira da Foz, Portugal.
- de Groot, W.J. 2010.** Modeling fire effects: Integrating fire behavior and fire ecology. In, 6th International Conference on Forest Fire Research. ADAI/CEIF University of Coimbra, Coimbra, Portugal.
- de Groot, W.J., Cantin, A.S., Flannigan, M.D., Soja, A.J., Gowman, L.M., Newbery, A. 2012.** A comparison of Canadian and Russian boreal forest fire regimes. Forest Ecology and Management, in press.
- de Groot, W.J., Flannigan, M.D., Cantin, A.S. 2012.** Climate change impacts on future boreal fire regimes Forest Ecology and Management, in press.
- Dixon, R.K., Krankina, O.N. 1993.** Forest fires in Russia: carbon dioxide emissions to the atmosphere. Canadian Journal of Forest Research 23, 700-705.
- FAO. 2001.** Global forest resources assessment 2000: Main report. In. United Nations, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- FAO. 2007.** Fire management - global assessment 2006. In. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, p. 135.
- Flannigan, M., Logan, K., Amiro, B., Skinner, W., Stocks, B. 2005.** Future area burned in Canada. Climatic Change 72, 1-16.
- Flannigan, M.D., Cantin, A.S., de Groot, W.J., Wotton, B., M., Newbery, A., Gowman, L.M. 2013.** Global wildland fire season severity in the 21st century. Forest Ecology and Management, in press.
- Flannigan, M.D., Krawchuk, M.A., de Groot, W.J., Wotton, B.M., Gowman, L.M. 2009a.** Implications of changing climate for global wildland fire. International Journal of Wildland Fire 18, 483-507.
- Flannigan, M.D., Stocks, B.J., Turetsky, M.R., Wotton, B.M. 2009b.** Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest. Global Change Biology 15, 549-560.
- Giglio, L., Randerson, J.T., Van der Werf, G.R., Kasibhatla, P.S., Collatz, G.J., Morton, D.C., DeFries, R.S. 2010.** Assessing variability and long-term trends in burned area by merging multiple satellite fire products. Biogeosciences 7, 1171-1186.
- Gillett, N.P., Weaver, A.J., Zwiers, F.W., Flannigan, M.D. 2004.** Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. Geophysical Research Letters 31, L18211.18211-L18211.18214.
- IPCC. 2000.** Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. 2007.** Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. In. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 104.
- Kasischke, E.S., Turetsky, M.R. 2006.** Recent changes in the fire regime across the North American boreal region-Spatial and temporal patterns of burning across Canada and Alaska. Geophysical Research Letters 33, L09703.

- McAlpine, R.S. 1998.** The impact of climate change on forest fires and forest fire management in Ontario. Pp. 15-18 *in* The Impacts of Climate Change on Ontario's Forests. Ont. Min. Nat. Resour., Ont. For. Res. Inst., Sault Ste. Marie, ON. For. Res. Info. Pap. No. 143.
- McAlpine R.S. and Hirsch K.G. 1998.** LEOPARDS—Level of Protection Analysis Software. *For. Chron.* 75: 615-621.
- Mouillot, F., Field, C.B. 2005.** Fire history and the global carbon budget: a 1°× 1° fire history reconstruction for the 20th century. *Global Change Biology* 11, 398-420.
- Pechony, O., Shindell D.T. 2010.** Driving forces of global wildfires over the past millennium and the forthcoming century *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 19167-19170.
- Podur, J., Wotton B.M. 2010.** Will climate change overwhelm fire management capacity? *Ecol. Model.* 221, 1301-1309.
- Power, M., Marlon, J., Ortiz, N., Bartlein, P., Harrison, S., Mayle, F., Ballouche, A., Bradshaw, R., Carcaillet, C., Cordova, C., Mooney, S., Moreno, P., Prentice, I., Thonicke, K., Tinner, W., Whitlock, C., Zhang, Y., Zhao, Y., Ali, A., Anderson, R., Beer, R., Behling, H., Briles, C., Brown, K., Brunelle, A., Bush, M., Camill, P., Chu, G., Clark, J., Colombaroli, D., Connor, S., Daniau, A.L., Daniels, M., Dodson, J., Doughty, E., Edwards, M., Finsinger, W., Foster, D., Frechette, J., Gaillard, M.J., Gavin, D., Gobet, E., Haberle, S., Hallett, D., Higuera, P., Hope, G., Horn, S., Inoue, J., Kaltenrieder, P., Kennedy, L., Kong, Z., Larsen, C., Long, C., Lynch, J., Lynch, E., McGlone, M., Meeks, S., Mensing, S., Meyer, G., Minckley, T., Mohr, J., Nelson, D., New, J., Newnham, R., Noti, R., Oswald, W., Pierce, J., Richard, P., Rowe, C., Sanchez Goni, M., Shuman, B., Takahara, H., Toney, J., Turney, C., Urrego-Sanchez, D., Umbanhowar, C., Vandergoes, M., Vanniere, B., Vescovi, E., Walsh, M., Wang, X., Williams, N., Wilmshurst, J., Zhang, J. 2008.** Changes in fire regimes since the Last Glacial Maximum: an assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data. *Climate Dynamics* 30, 887-907.
- Pyne, S.J. 2001.** *Fire: A Brief History.* University of Washington Press, Seattle.
- Stocks, B.J. 1993.** *For. Chron.* 69(3), 290-293.
- Stocks, B.J., Fosberg, M.A., Lynham, T.J., Mearns, L., Wotton, B.M., Yang, Q., Jin, J.-Z., Lawrence, K., Hartley, G.R., Mason, J.A., McKenney, D.W. 1998.** Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forests. *Climatic Change* 38, 1-13.
- Stocks, B.J., Mason, J.A., Todd, J.B., Bosch, E.M., Wotton, B.M., Amiro, B.D., Flannigan, M.D., Hirsch, K.G., Logan, K.A., Martell, D.L., Skinner, W.R. 2003.** Large forest fires in Canada, 1959 - 1997. *Journal of Geophysical Research* 108, 8149.
- Stocks, B.J., Alexander, M.E., Lanoville, R.A. 2004.** Overview of the International Crown Fire Modelling Experiment (ICFME). *Can. J. For. Res.* 34, 1543-1547.
- van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Mu, M., Kasibhatla, P.S., Morton, D.C., DeFries, R.S., Jin, Y., van Leeuwen, T.T. 2010.** Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmos. Chem. Phys.* 10, 11707-11735.
- Van Wagner, C.E. 1970.** Conversion of Williams severity rating for use with the fire weather index. In. *Can. Dep. Fisheries and For., Petawawa Forest Expt. Stn., Petawawa, Ontario.*

- Van Wagner, C.E. 1987.** Development and structure of the Canadian forest fire weather index system. In. Canadian Forest Service, Ottawa, Canada.
- Westerling, A.L., Hidalgo, H.G., Cayan, D.R., Swetnam T.W. 2006.** Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. *Science* 313, 940-943.
- Wotton, B.M., Stocks, B.J. 2006.** Fire management in Canada: vulnerability and risk trends. In: **Hirsch, K., Fuglem, P.** (Eds.), *Canadian Wildland Fire Strategy: Background Synthesis, Analysis, and Perspectives*. Canadian Council of Forest Ministers. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta, pp. 49-55.

SEILAF: OPTIMIZACIÓN TÁCTICA¹

Carlos Abrego Aguilar², F. Javier Romera López³, Regina de la Rosa Calancha⁴, y Domingo Villalba Indurria⁵

Resumen

SEILAF es un sistema diseñado para el entrenamiento, la simulación y la investigación de la lucha contra incendios forestales en un mundo de gran realismo virtual en 3D. En su construcción han participado un consorcio de centros tecnológicos CITIC y CATEC, empresas INDRA y FAASA, y la Universidad de Córdoba. El centro de simulación está ubicado en Aerópolis, junto al aeropuerto de Sevilla en Andalucía, España.

El sistema consta de tres simuladores interconectados: Un simulador de vuelo de helicóptero Bell 412, un simulador de aeronave de ala fija para entrenar las tareas de coordinador aéreo y un simulador de Puesta Avanzado de Mando donde se pueden entrenar el equipo de dirección técnica de extinción de un incendio forestal. Todo en ello en significativos escenarios realistas de alta resolución. La idea es absolutamente novedosa: será la primera vez que se integra un servidor de propagación de fuego con la acción modelada de los recursos de extinción en un entorno táctico.

Desde los primeros ajustes y pruebas del sistema hemos podido entrar a analizar y a modelizar hipótesis, en el desarrollo de ejercicios, respondiendo que gestión de recursos, en un régimen de fuegos determinado, para intentar determinar la táctica de extinción de incendios, más eficiente y segura.

Palabras clave: entrenamiento virtual, SELAF, simulación de fuego y humo.

Introducción

Las organizaciones de respuesta a los incendios forestales, en similitud a las personas (Pirámide de Maslow), conforme satisfacen necesidades básicas evolucionan hacia estructuras de funcionamiento más complejas, eficientes, inteligentes y adaptables a los diversos contextos socioeconómicos y de regímenes de fuego.

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios: Cambio Climático e Incendios Forestales; noviembre 5-11 de 2012, Ciudad de México, México.

² Ingeniero de Telecomunicaciones. Subdirector Áreas Corporativas FAASA.

³ JAA Instructor y Examinador de vuelo. Head of Helicopter Training SEILAF.

⁴ Ingeniero de Montes. Head of Forest Fire Research SEILAF.

⁵ Ingeniero de Montes. Head of Forest Fire Training SEILAF.

En la base de nuestra pirámide tendríamos una organización básica y un nivel mínimo de recursos, en un escalón más arriba una formación estandarizada y certificada, por encima un sistema de seguridad total, más arriba una organización de alta fiabilidad (HRO) y en la cúspide estaría la optimización de la gestión del conocimiento cuyo indicador global podría ser la eficiencia máxima.

Por otra parte, la eterna búsqueda de la solución definitiva a la problemática de gestión de la emergencia que los incendios forestales suelen causar también va pasando por varias fases aunque esta de forma poco secuencial. Como puede ser; el hallazgo del recurso milagro, el invento definitivo, la panacea de las nuevas tecnologías, hasta regresar a las acciones de extinción básicas y robustas.

Las organizaciones estudiadas las podríamos agrupar en dos tipos genéricos y diferenciados de modelos estratégicos de gestión de la extinción de fuego forestal:

1.- Las de ataque directo. Su principal tendencia siempre es a minimizar la superficie afectada por el fuego atacando directamente los frentes de avance.

2.- Las de ataque indirecto. Su principal tendencia siempre es a contener el fuego en un perímetro cerrado establecido por líneas de defensa existentes o por construir.

Ambos modelos sin embargo comparte el mismo objetivo común, a saber, la extinción del incendio al menor coste económico minimizando sus efectos directos y colaterales de todo tipo.

Y ambas tendencias necesitan de pautas que les permita dimensionar sus recursos buscando siempre el deseado punto de equilibrio. Aunque algunas cuestiones seguirá existiendo, como el despacho inicial adecuado de recursos con el nivel de recursos óptimo. En épocas de bonanzas económicas se ha llegado a extinguir fuegos por inundación. Por contra, en épocas de escasez, un nivel de recursos inadecuado junto a un despacho mediado por "el esperar a ver", provocan el efecto que se quiere evitar, el de un exorbitante nivel de gastos para atender a fuegos que provocan unas pérdidas inconmensurables.

Los despachos de recursos han sido considerados siempre como respuesta a un Plan inicial de Acción cuyas estrategias y tácticas adoptadas difieren enormemente según la experiencia, formación y pertenencia administrativa de la persona que lo realiza. En España según la Comunidad Autónoma y dentro de esta según provincia o incluso comarca las diferencias son notables. Unas están fundamentadas por el dispar régimen de fuegos pero otras sólo se basan en una mejor o peor gestión del conocimiento. Esta variación es la que queremos validar y constatar en SEILAF. Y de todas las respuestas poder elegir las más eficaces según una tipología de contexto.

El inicio de nuestro esfuerzo investigador se ha destinado prioritariamente a movimientos tácticos. Como ejemplo, supongamos que por defecto lo mejor e indubitado es siempre concentrar primero todos los esfuerzos y recursos en parar la

cabeza del fuego. Entonces han sido planteados ensayos para comprobar si está táctica se puede validar con el óptimo de eficacia.

Como apunte, SEILAF y por extensión ningún simulador puede ser "la máquina de la verdad" (sic.) Rodríguez y Silva, F.. En cambio, la capacidad de adquirir conocimiento que tiene el sistema permite sin lugar a dudas descubrir y validar respuestas modelizadas. Cuyas grandes ventajas son la economía de medios, riesgos y tiempo.

Objetivos

Podemos concretar el alcance de la presente comunicación en tres objetivos principales:

- Dar a conocer el sistema SEILAF mediante la exposición de hipótesis de investigación y sus primeros ensayos.
- Compartir nuestra iniciación en la gestión del conocimiento táctico de las maniobras virtuales de extinción.
- Abrir nuevas vías de estudio e investigación utilizando SEILAF como laboratorio de experimentación y cooperación.

Metodología

Hipótesis

De partida tenemos una serie de postulados o hipótesis. Se han elegido tres por su significación e importancia para consolidar una metodología común que facilitará nuevos ensayos y estudios de validación.

A- Ataques iniciales siempre a la cabeza del fuego.

B- Cubrir zona o cuáles son las consecuencias que salga otro fuego teniendo comprometida la respuesta.

C- Rango mínimo de respuesta.

Componentes del sistema

La arquitectura del sistema la componen seis elementos principales.

Sala de servidores—

Sala de servidores donde reside el cerebro del sistema. Dispone de 9 racks en forma de L, repletos de equipos COTS que garantiza el óptimo funcionamiento y control de cada elemento del sistema, así como un reemplazo rápido en caso de fallo.

El sistema que coordina todos los demás se denomina HOST y su funcionalidad es:

- Garantizar la simulación en tiempo real
- Gestionar los distintos comandos, modos y fases
- Sincronizar con todos los sistemas que componen los simuladores
- Ejecutar y realizar el ciclado correcto de modelos de simulación

Los tres simuladores se basan en el mismo HW y SW y la principal diferencia radica en el número de elementos de cada sistema. Esto favorece la robustez del sistema y reduce considerablemente el tiempo de respuesta ante una contingencia.



Figura 1—Sala de equipos.

Simulador helicóptero Bell 412—

Consta de una cabina de helicóptero B412 totalmente instrumentada rodeada por un domo esférico de 3,25 metros de radio con un sistema de 6 proyectores sobre una base que se apoya en un sistema hidráulico de movimiento.

El simulador está diseñado para cumplir los requerimientos establecidos en la norma JAR FTD nivel 3.



Figura 2—Simulador de helicóptero B412

Simulador PMA (Puesto de Mando Avanzado) —

La solución adoptada es un vehículo con todos los sistemas de comunicación simulados y una estación meteorológica delante de un panel de ocho metros donde dos proyectores de alta resolución proyectan el escenario virtual donde se desarrollan los ejercicios.



Figura 3—Simulador Puesto de Mando Avanzado (PMA)

Simulador COA (Coordinación Aérea) —

En una cabina de un avión KingAir se ha dispuesto en dos monitores una serie de instrumentación de utilidad en la coordinación aérea. En este caso se ha utilizado un sistema de retroproyección que abarca todo el campo visual necesario para conseguir una perfeccionada inmersión en la coordinación y gestión de las operaciones aéreas.



Figura 4—Simulador Coordinador Aéreo (COA)

Puestos de instructores—

En el caso de los simuladores COA y PMA los puestos de instructores no están embarcados. Cada puesto de instrucción consta de un sistema de comunicación y tres monitores con las siguientes herramientas:

- IOS (Instructor Operation System). Interfaz que utiliza el instructor tanto para planificar como para ejecutar ejercicios.
 - En modo ejecución se pueden realizar las siguientes acciones.
 - Parar, cargar y ejecutar un ejercicio previamente definido en el planificador (LPSG)
 - Modificar las condiciones iniciales
 - Controlar la simulación (ejecución, pause, stop)
 - Seguir el estado del sistema y mensajes de instructor
 - Monitorizar y controlar:
 - Posición y parámetros de vuelo
 - Comunicaciones
 - Fallos
 - Entidades tácticas
 - Condiciones ambientales y visuales

- Propagación incendio
- Sesiones y marcas (Debriefing)
- o En modo planificador el instructor puede realizar las siguientes operaciones:
 - Parar, crear, eliminar y modificar ejercicios
 - Posición Inicial
 - Carga inicial
 - Averías preprogramadas (tiempo, evento condición)
 - Condiciones ambientales y visuales
 - Incendio
 - Entorno táctico
 - Editar maniobras
 - No hay distinción de tipo de simulador. Los ejercicios creados pueden ser ejecutados en cualquiera de los tres simuladores.
 - Mantenimiento de librerías
 - Base de datos de radioayudas
 - Base de datos de modelos (ET)
 - Usuarios
 - Waypoints & rutas
 - Zonas de interés (puntos de abastecimiento de agua, lagos, etc.)
 - Paquetes de datos (ambientales, visuales, posición, fallos, radioayudas)

Estación de interrogatorio—

Sistema donde se graba la evolución de las misiones, las comunicaciones de voz y las imágenes de las cámaras embarcadas en cada simulador. El sistema tiene una capacidad de almacenamiento online de hasta 500 horas de simulación.

Entorno táctico

El Entorno Táctico es el sistema responsable de:

- Simular las entidades participantes en el escenario
- Informar al resto de los subsistemas del estado de las entidades
 - Posición de instructor
 - Host
 - Visual
 - Entorno de fuego
 - Sonidos

Las acciones de cada elemento táctico se han modelizado según su comportamiento real en una lógica automática. Siendo configurable en ciertos parámetros su rendimiento de acción. Por ejemplo a realizar una línea de defensa o en su capacidad extintora en ataque directo o en parámetros más básicos como su velocidad de desplazamiento.

Servidor de fuego y viento local

Desarrollado por la Universidad de Córdoba y CATEC, respectivamente, SEILAF, cuenta con un servidor de fuego y de viento local, específico para simular las condiciones de propagación de cualquier foco en ignición que bajo unas condiciones meteorológicas dadas, se estableciera en cualquier punto de un escenario geoespecífico elegido.

Una de las principales características conseguidas de este servidor es que funciona en tiempo real basándose en el modelo teórico de propagación de visual Cardín. De esta forma debido al ajuste del modelo podemos observar visualmente tamaños, colores y formas de llama y humo con un sentido físico de la dinámica de comportamiento del fuego. Como gran valor añadido tiene respuesta a todas las acciones realizadas por cualquier tipo de elemento táctico en su tarea de extinción, incluso en la realización de quemados de ensanche y fuego técnico.

La realidad de la dinámica de avance del fuego en los ecosistemas forestales, pone de manifiesto que en determinadas condiciones y dependiendo de la humedad de la vegetación viva localizada en el dosel arbóreo, así como de la transmisión verticalizada del efecto convectivo procedente del desplazamiento superficial del fuego, se pueden generar procesos que ante elevadas intensidades lineales de avance del fuego, se pueden generar fenómenos de entorchamientos individualizados de árboles, generándose avances pasivos o intermitentes del fuego a través de las copas. Esta realidad ha sido incluida en los mecanismos de avance del fuego.

Así como la definición de áreas potencialmente capaces de generar la ignición de nuevos focos de fuego, dependiendo ello, de la concurrencia de la energía térmica ascensional, la velocidad del viento en altura, el tipo de modelo de combustibles y el estado probabilístico de los combustibles frente a la ignición. El origen de las pavesas tiene siempre una posición privilegiada en el frente del incendio y la altura tomada cuando la columna de convección pasa de su desarrollo vertical a ser movida por el viento principal.

El parámetro de salida de intensidad de llama (kW/m) ha servido para diferenciar las zonas de cabeza o motor del fuego y geolocalizar en dichas celdas la base de las columnas de convección. El entorchamiento y el paso a fuego de copas se establecen según las ecuaciones de la intensidad crítica de copas (para el

entorchamiento) y de la fracción de copa quemada (para determinar si el fuego de copas es pasivo o activo).

Bases de datos

La gran base de datos del visual es compartida por los tres simuladores. En ejercicios conjuntos desde cada posición tiene su visión específica. Se parte de 15 escenarios de detalle de 20x20 km donde se ha intentado recoger la diferente tipología de fuegos,; orográficos, de viento y convectivos, en condiciones y paisajes diversos, abarcando desde zonas de bosques naturales como Muniellos en Asturias a paisajes humanizados y hasta extremos de interface urbano-forestal como Massanet en Girona.

La base de datos geoespecífica SEILAF consta,

- o La base de datos comprende la península ibérica, islas Baleares e islas Canarias.
 - Basada en DTED2 e imagen de satélite Landsat de 15 metros de resolución para el terreno en general
- o Basada en mdt y ortofotos de alta resolución para los escenarios de detalle o geoespecíficos
- o Aeropuertos
- o CEDEFOS/Bases de Medios Aéreos
- o Puntos de agua de varios tipos y dificultades de carga
- o Modelos específicos:
 - Elementos Aéreos
 - Elementos Tácticos terrestres

Los escenarios de detalle se han realizado, Sobre la restitución de 20km x 20km de cada zona de detalle, se ha decidido los elementos 3D a modelar necesarios para el entrenamiento:

- Obstáculos
 - Puestos de vigilancia
 - Elementos eólicos
 - Antenas, repetidores
 - Líneas eléctricas
 - Puntos de encuentro (área plana con señal de helipuerto)
 - Edificios con helipuerto, etc.
-
- o Se han generado los ficheros de trayectorias (partiendo de datos vectoriales a escala 1:50.000) de los caminos y carreteras que se

consideren necesarios para el movimiento de los elementos tácticos terrestres.

- o También se han modelado las zonas de bosques, partiendo de los datos vectoriales 1:50.000 y del mapa forestal nacional para determinar el tipo de especie a poblar en cada caso.
- o En las zonas de bosque se han añadido modelos de árboles 3D con una densidad prefijada y de forma aleatoria (con la especie que se obtenga del mapa forestal)
- o Se han tenido en cuenta las distintas densidades de los bosques a partir de lo observado en la ortofoto.
- Diversidad de modelos específicos o avatares de elementos aéreos con diversos camuflajes y matrículas:
 - o CL-415
 - o AT 802
 - o AT 802 FB
 - o PZL DROMADER
 - o CESSNA 337
 - o B407
 - o B412
 - o A119 KOALA
 - o AS350B3AS355N
 - o BO 105
 - o SUPERPUMA
 - o SOKOL PZL SWIDNIK W3
 - o KAMOV K-32
 - o SIKORSKY S70 FIREHAWK
 - o MI8 TV
- Modelos Específicos o avatares de Elementos Tácticos Terrestres con una herramienta de configuración de su código identificativo:
 - o Autobomba ligera
 - o Autobomba pesada
 - o Autobomba nodriza
 - o Dozer sobre cadenas
 - o Brigadas helitransportadas
 - o Brigadas terrestres tipo II
 - o Unidades tipo III
 - o Bomberos
 - o UME

Generador de imágenes

Para la interacción entre servidor de fuego e interfaz visual se han definido los protocolos e interfaces de comunicaciones apropiados para comunicar el servidor de fuego y el resto de sistemas implicados.

Inicialización del fuego—

Se proporciona al servidor de fuego la información sobre los materiales (tipos de combustible y terreno) de la zona elegida para la simulación y se refleja este área sobre una cuadrícula de celdas de un tamaño indicado por la interfaz de usuario, siempre dentro de unos valores límite y en una zona de orografía conocida y previamente estudiada. Esta cuadrícula no será visible en tiempo de simulación, pero estará disponible como herramienta de Debug que nos sirve para comprobar la concordancia de los datos que envía el servidor de fuego y los que se representan visualmente.



Figura 5—Visor de grid de celdas

Sistema de partículas—

Las columnas de humo son sistemas de partículas con determinadas propiedades, caracterizados por diferentes “affectors” los cuales determinan el tipo de humo a representar.

Cambio de estado de la vegetación—

Los modelos de vegetación cambiarán a un estado “quemado” acorde al avance del fuego. Para ello, todos los árboles dentro de la zona del incendio han sido asignados previamente a la celda que ocupan sobre el terreno, de manera que al cambiar esta, los árboles que contiene cambien también. Para ello ha sido necesario reordenar los árboles en memoria y reestructurar la forma en que se accedía a ellos para optimizar el cambio individual entre un modelo y otro de árbol.

Definición de agentes extintores—

Después de consultar a expertos en la materia, se han definido varios tipos de agentes, con sus propiedades y comportamientos sobre las zonas afectadas de terreno, estableciéndose 3 tipos de agente: Agua, retardante amónico y espuma.

Descarga de agentes extintores desde entidades tácticas aéreas—

Una de las medidas contraincendios destacadas y objeto de entrenamiento serán las descargas aéreas de agentes extintores. Esto afectará a la superficie del incendio interactuando con las llamas y obteniendo el resultado apropiado para cada celda. Esta acción se verá reflejada en la interfaz visual con un efecto de descarga que varía en función del tipo de agente utilizado. La descarga de agua es otro efecto realizado a partir de sistemas de partículas, y se aplican los mismos criterios de ajuste que para el fuego y el humo.

Evolución del incendio—

La evolución del incendio se refleja, además de con los efectos de fuego y humo con un efecto de terreno ardiendo, en brasa y quemado, utilizando una técnica de pintado sobre FrameBufferObject y proyectando el estado de cada celda sobre la cuadrícula definida.

Acción de las entidades tácticas terrestres—

De manera similar a las entidades aéreas, los vehículos terrestres realizan descargas sobre zonas del terreno afectado. La acción de las brigadas, un tipo de entidad táctica terrestre, se refleja en forma de zanjas sobre el terreno afectado, las llamadas líneas de defensa, o en ataque directo con batefuegos y en punta de lanza, incluso realizan contrafuegos. Para reflejar el efecto en la interfaz visual con el usuario se utiliza la misma técnica que al quemar el terreno.



Figura 6—Ejemplo de figuración acción de extinción

ENSAYOS

Los ejercicios realizados hasta ahora no son representativos ni el número ni en estado óptimo del sistema pero si son significativos en cuanto a variedad del sistema organizativo de origen y orientadores en la determinación o focalización de factores de mejora táctica.

Hipótesis A— Ataques iniciales siempre a la cabeza. El ejercicio diseñado se ha podido repetir 4 veces.

Escenario: Sierra de la Culebra, Zamora, Castilla y León.

Día: 15 de julio de 2013.

Condiciones meteorológicas: Tª 42 °C, Hr 18%, 20 días última lluvia, HCFM 3%, HAINES 4

Hora inicio ignición: 16:15 GTM

Área de inicio: 5000 m²

Localización: 41° 55'40,20" N; 6° 49'31,60" O

Nivel de recursos: 1

Duración ejercicio: 63 minutos

Variable: Dirección del viento

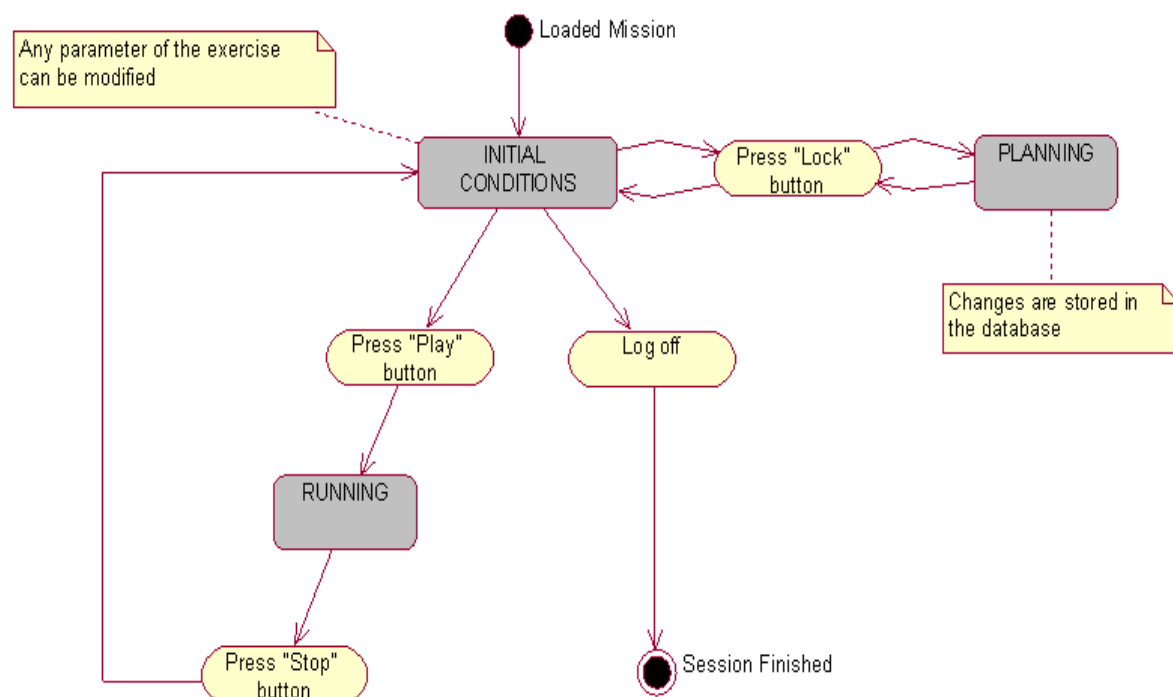


Figura 7—Diagrama de flujo operación de los ejercicios

Hipótesis B— El mito de cubrir zona.

Escenario: Ibias, Asturias.

Día: 15 de julio de 2013

Condiciones meteorológicas: Tª 27 °C, Hr 14%, 12 días última lluvia, HCFM 9%, HAINES 3

Hora inicio ignición: 20:30 GMT

Área de inicio: 3000 m²

Localización: 43° 02'29,35" N; 6° 19'31,60" O

Nivel de recursos: 3

Localización: IBIAS

Duración ejercicio: 87 minutos

Variable: Número de aeronaves en base.

Hipótesis C— Rango mínimo de respuesta.

Escenario: Villaviciosa, Córdoba, Andalucía.

Día: 15 de julio de 2013

Condiciones meteorológicas: Tª 39 °C, Hr 8%, 40 días última lluvia, HCFM 1%, HAINES 4

Hora inicio ignición: 16:12 GMT

Área de inicio: 1000 m²

Localización: 38° 6'14,39" N; 5° 0'35,75" O

Nivel de recursos: 2

Localización: Noroeste embalse

Duración ejercicio: 32 minutos

Variable: Dilación en el despacho.

Resultados (Discusión)

Hipótesis A— Ataques iniciales siempre a la cabeza. Esta premisa táctica sólo es eficiente siempre que la capacidad de extinción supere a la intensidad del frente principal.

Se han descubierto otras condiciones. Frenar la cabeza es una ventaja porque se minimiza el área/perímetro y con sólo un recurso se puede controlar fuegos enteros. Siempre que ningún flanco pueda tener un mayor peligro potencial. Condiciones constantes y tiempos de control que no sobrepase la media hora. La táctica clásica y segura, de cola a cabeza por el flanco más fácil de extinguir y anclar, ha dado resultados muy eficientes, en cuanto se cambiaban condiciones de propagación o medios esperados pasaban a estatus inoperativos.

Hipótesis B— El mito de cubrir zona.

Los ejercicios se han desarrolla en escenario de IBIAS debido a que es típico un régimen de fuegos con días de multitud de fuegos simultáneos. La secuencia de fuegos creada ha sido hasta llegar a cinco fuegos simultáneos con una potencia de recursos aéreos de una BRIF (Tineo) compuesta por dos Sokol, un Kamov (Ibias) como helicóptero bombardero de gran capacidad y un B3 con una helitransportada tipo 1.

Los ensayos han versado en validar el esquema táctico de extinción en serie como más óptimo que hacerlo en paralelo. La concentración de recursos que permite extinguir el incendio en el menor tiempo posible siempre es mejor hasta el momento donde la prioridad en valor o en la peligrosidad de un nuevo incendio incipiente provoca la urgencia de trasladar todos los medios a ese nuevo foco. Como posible conclusión a validar se puede apostar por el mejor sitio ante situaciones de simultaneidad donde puede estar los recursos es actuando.

Hipótesis C— Rango mínimo de respuesta.

Los tiempos entre ignición, despacho y llegada del primer medio son críticos. Y estos sólo pueden ser atenuados en sus holguras por un despacho inicial compensado y adaptado a las circunstancias de riesgo y evolución del fuego. Si dicha oportunidad es obviada el despacho escalonado no suele resolver la situación de fuego escapada necesitando siempre una estrategia de ataque ampliado.

La batería de ejercicios realizados hasta ahora ha consistido en probar como una demora de diez minutos en la salida de la BRICA del CEDEF0 de Cabeza Aguda puede ser compensada por el despacho de un KAMOV desde la ubicación de Villar de Buey y que pasaría si vamos aumentando el retardo en la llegada de este medio de refuerzo hasta comprobar para que supuestos estaría en situación límite de refuerzo.

Conclusiones

Las estrategias de optimización táctica deducidas de cada una de las hipótesis las hemos unificado y clasificado en cuatro apartados.

Mejora de la seguridad

Los diversos ejercicios han demostrado que una toma de decisiones inicial equivocada es lo que marca en un tanto por ciento muy elevado la concatenación de sucesos hasta el desastre. De esta forma una de las primeras conclusiones es la necesidad de incrementar las capacidades de evaluación inicial para poder optimizar las primeras reacciones sin pérdidas de oportunidad. Los ejercicios realizados se comportaban como una partida de ajedrez en la que cada movimiento desde la apertura provoca un sinfín de posibilidades y donde los pasos en falsos desequilibran el juego.

Por lo tanto vemos difícil apostar por el concepto de "la táctica más segura" ya que a pequeños cambios de factores los rangos de variabilidad son exponenciales. En cambio, si se podría estandarizar y revisar los procedimientos actuales para adecuarlos a los más intensos comportamientos del fuego y al incremento de las capacidades de extinción.

Las tácticas ineficaces suelen llevar acompañadas la asunción de riesgos gratuitos, en peligrosidad y logro de objetivos. Por lo que se hace muy importante el tener una visión estratégica o una intencionalidad clara y evaluada en la planificación de todas las acciones.

Mejora del rendimiento

La principales causa de pérdida de eficacia detectadas las podemos resumir en tres; despachos inadecuados, inoperatividades de las entidades tácticas y holguras en las transmisión de órdenes del Plan de Acción.

Optimización eficiencia económica

La conclusión es que la aportación desde la optimización táctica a la eficiencia económica es insignificante comparándola con otros factores externos o muy alejados como pueden ser las acciones preventivas o la ordenación del territorio.

Lo que se valora como esencia es poder conocer capacidades de extinción en relación al comportamiento del fuego para evitar esfuerzos innecesarios.

Respuesta ante lo inesperado

En las todavía escasas ocasiones donde se han introducido pequeñas contingencias en el desarrollo de los ejercicios se ha comprobado que no perturban cuando las acciones se están llevando con planificaciones a corto plazo. En cambio cuando estás se estructuran y alcanzan horizontes temporales mayores la capacidad de reacción se resiente habiendo una inercia fuerte al cambio de estrategias. En el único caso ejercitado donde estaba previsto un Plan B el resultado fue mucho más eficaz. El factor experiencia/entrenamiento suponemos será determinante para afrontar con capacidad este tipo de situaciones. El plan de pruebas se continuará en breve.

Por último, concluir que SEILAF como entorno de estudio ha demostrado ser capaz de responder a la simulación de las múltiples variables y casos que se querían analizar. Las herramientas disponibles en la IOS han permitido la planificación adecuada de cada ensayo así como el seguimiento en su ejecución y la grabación de todos los ejercicios. La inmensidad de datos generados hace plantear la necesidad de comenzar a contar con herramientas de análisis ad hoc para lograr transformar la información creada en conocimiento.

Agradecimientos

Se agradece a la Organización del Congreso y al Comité Científico la aceptación de esta ponencia dada la gran oportunidad de difusión que ello supone.

Manejando los Riesgos del Manejo del Riesgo en los Grandes Incendios¹

Donald G. MacGregor² y Armando González-Cabán³

Resumen

Los grandes incendios suponen riesgos para una serie de importantes valores, incluyendo la ecología, la propiedad y la vida de quienes responden a los incidentes. Un aspecto relativamente poco estudiado del manejo del fuego son los riesgos a los que están expuestos los gerentes de incidentes debido a factores organizacionales y sociopolíticos que los ponen en una posición de, por ejemplo, la posible responsabilidad o la degradación de su imagen como líder. Este trabajo explora la hipótesis de que el concepto de riesgo en el manejo de grandes incendios se extiende más allá de la posibilidad de daño físico e incluye daños potenciales percibidos en forma de daños sociales que pueden ir a parar al personal de manejo de fuego. Un conjunto de incendios de las Regiones 5 (Pacífico Suroeste) y 6 (Pacífico Noroeste) del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) para los años 2009-2013, se seleccionan con base en el costo (>\$ 5,000,000) y se examinan usando una combinación de entrevistas estructuradas y un protocolo de auto-informe para obtener y codificar las experiencias de los gerentes de distritos contra incendios (incluyendo oficiales de línea, personal de bomberos y comandantes de incidentes) con respecto a una serie de riesgos asociados a la gestión de incidentes, incluyendo factores sociopolíticos que influyen en el manejo de incidencias y las percepciones del riesgo profesional. La información resultante será modelada en términos de la relación entre factores de percepción del gerente de incidentes y las decisiones sobre el incidente. La identificación de estos factores normalmente no reconocidos y/o tomados en cuenta explícitamente en el proceso de toma de decisiones de los gerentes de incendios daría lugar, con suerte, a un reconocimiento e internalización de estos factores en sus decisiones.

Palabras clave: Riesgo profesional, toma de decisiones basadas en el riesgo, capital social

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales; noviembre 5-11 de 2012; Ciudad de México, México.

² Principal & Senior Scientist, MacGregor Bates, Inc., 1010 Villard Avenue, Cottage Grove, OR, 97424; Email: donald@macgregorbates.com.

³ Economista Investigador en el Programa Ecosistemas Urbanos y Dinámicas Sociales, Estación del Pacífico Suroeste, Servicio Forestal USDA, 4955 Canyon Crest Drive, Riverside, CA 92507; Email: agonzalezcaban@fs.fed.us.

Introducción

El propósito de la gestión del riesgo es reducir la posibilidad de daños asociados con la exposición a condiciones peligrosas, tomando las medidas adecuadas. En general, la gestión del riesgo se conceptualiza como una respuesta a los resultados o conclusiones de una evaluación de riesgo mediante la cual los peligros son identificados, las exposiciones son evaluadas, y los riesgos son caracterizados (*National Research Council 2009*). En esencia, la gestión del riesgo es un problema en la toma de decisiones basada en el riesgo, y el foco central de la gestión del riesgo es decidir entre medidas alternativas de reducción de riesgo. Aunque este proceso le da una consideración explícita a los factores relacionados con los riesgos asociados con la exposición a peligros, le da poca o ninguna atención a los riesgos emergentes del propio proceso de gestión de riesgos. De hecho, dadas las incertidumbres inherentes a la gestión del riesgo, los resultados de las acciones de reducción de riesgo no pueden ser conocidos con certeza. Como resultado, incluso las evaluaciones de riesgo y planes de manejo de riesgo mejor intencionado pueden llevar a resultados indeseables. Desde esta perspectiva, la gestión del riesgo es un ejercicio de toma de decisiones bajo incertidumbre para la cual el tomador de decisiones es responsable de la totalidad de los resultados, tanto intencionales como no intencionales.

Hasta la fecha, las aplicaciones de la toma de decisiones de la gestión del riesgo se han centrado en el problema de la gestión del riesgo como ajeno a la toma de decisiones, y se hace en su nombre en apoyo de una decisión. Es decir, la evaluación del riesgo proporciona el marco para la identificación e implementación (incluida la vigilancia) de los esfuerzos de gestión de riesgos. Considérese el caso de los incendios forestales en los que los gerentes de distritos contra incendios utilicen la evaluación del riesgo como la base para determinar los posibles impactos del incendio en los valores en riesgo (por ejemplo, los recursos naturales, la propiedad privada), así como los riesgos para quienes están expuestos a los peligros de los incendios forestales como parte de la gestión del riesgo (por ejemplo, los bomberos forestales).

Dos elementos clave que reciben poca atención en la investigación de la gestión del riesgo están relacionados con el tomador de decisiones de la gestión del riesgo como un agente personal, y el contexto social más amplio en el que opera el tomador de decisiones. Estos dos elementos pueden ser caracterizados como riesgo profesional y riesgo para el capital social.

Riesgo para el Capital Social

Con respecto al contexto social, muchas decisiones basadas en el riesgo impactan no sólo a las organizaciones con las que los gestores del riesgo están asociados, pero

también impactan a partes interesadas fuera de la organización de un gestor del riesgo con consecuencias para capital social. En algunos contextos de gestión del riesgo, los impactos en el capital social pueden tener una influencia más allá de una situación específica de gestión del riesgo (por ejemplo, incendios forestales) y en otras áreas de gestión donde el capital social es crítico para el éxito del gestor de riesgos como un tomador de decisiones (por ejemplo, acciones tomadas bajo la Ley Nacional de Protección del Medio Ambiente [NEPA]). Del mismo modo, los gestores del riesgo que trabajan juntos en una situación de gestión del riesgo (por ejemplo, los oficiales de línea y los comandantes de incidentes) pueden basarse en el capital social para llevar a cabo su trabajo con calidad y eficiencia, pero tener capital social asociado con su relación de trabajo en riesgo debido a los elementos de la situación (por ejemplo, estrés elevado, capacidades de liderazgo).

Utilizamos el concepto de capital social para hacer referencia a recursos tales como la confianza, la información y las normas sociales, así como a una tendencia por parte de un tomador de decisiones de participar en acciones colectivas con las partes interesadas que tienen beneficio mutuo (por ejemplo, Bourdieu 1986, Coleman 1990, Fukuyama 2002, Paromita 2009). Implícita en esta definición está una red social relativamente estable de relaciones que es algo duradera aunque no necesariamente totalmente resiliente con respecto a los impactos de las expectativas sociales (implícitas) insatisfechas. Por lo tanto, el capital social está en riesgo cada vez que las acciones de un tomador de decisiones pudiesen resultar en violaciones o incumplimientos de las obligaciones sociales establecidas a través de patrones de interacción y negociación.

Riesgo para la Imagen y Carrera del Tomador de Decisiones

Los gestores del riesgo pueden enfrentar impactos potenciales para su imagen y su carrera en función de los resultados de las decisiones basadas en el riesgo que ellos tomen. Por ejemplo, los académicos pre-tenencia trabajando a través de líneas disciplinarias tradicionales han experimentado riesgo profesional cuando trabajan en áreas de investigación centradas en problemas interdisciplinarios tales como el cambio climático (Fischer y otros 2012). Hasta el momento, tenemos poco en términos de modelos del cómo el riesgo profesional podría influenciar en la toma de decisiones como parte de la gestión del riesgo basada en el riesgo, aunque sí tenemos algunas evidencias anecdóticas de que en el ámbito de toma de decisión de inversión profesional un reto importante para los profesionales de la inversión es lidiar con el riesgo profesional y la protección del empleo como un agente de inversión (por ejemplo, Grantham 2012). Observaciones de profesionales de la inversión sugieren

que los gestores del riesgo preocupados por el riesgo profesional pueden centrarse demasiado en lo que otros gestores del riesgo están haciendo o han hecho en el pasado, creando así una tendencia gregaria hacia ineficiencias en el comportamiento de la inversión. Dicho de manera más directa, las percepciones del riesgo profesional pueden conducir a los gestores del riesgo a la evasión excesiva del error o de resultados negativos (aversión al riesgo), y a la sobre-atención a comportarse como otros lo han hecho para evitar estar mal o errados por sí solos.

Contexto de Estudio

El riesgo es inherente al manejo del fuego. Los incidentes a gran escala, como los que cuestan millones de dólares para gestionar y suprimir, presentan múltiples fuentes de riesgo, incluyendo los riesgos para personal de incidentes, así como los riesgos para la base de recursos en forma de daños por incendio y por las actividades de supresión de incendios. La toma de decisiones en el contexto de los grandes incendios es la base para la gestión del riesgo, y una comprensión completa de la manera en que se toman las decisiones no se puede tener sin entender las características multidimensionales de los riesgos asociados con el fuego y el manejo del fuego en estos eventos de gran escala (MacGregor 2006).

En años recientes, el foco de la toma de decisiones sobre grandes incendios se ha centrado alrededor del costo y de la gestión de costos. Con la evidencia creciente de que no sólo los incendios han aumentado en costos y tamaño se encuentra el incómodo hallazgo de que los decesos de bomberos también han aumentado. Sin embargo, los costos de los incendios forestales sobre una base por acre, particularmente para los incendios más grandes, no son confiablemente predecibles a partir de las características biofísicas del contexto del fuego por sí solo. Es claro en este punto que, por mucho que las decisiones impulsen los costos de los grandes incendios, ellas no lo hacen basándose en características exógenas del incendio, incluyendo el tamaño, los valores en riesgo, los combustibles, topografía, *etc.*

Esta investigación toma la perspectiva de que en el contexto de la gestión de grandes incendios, el riesgo es un constructo multidimensional que incluye múltiples peligros y consecuencias. El daño al medio ambiente natural y artificial está entre estos peligros, como lo es el daño potencial a los bomberos y al público. Estas formas de peligro son generalmente bien representadas en la documentación de la toma de decisiones que acompaña a los grandes incendios. Para algunos de estos riesgos, ya se establecieron las medidas de mitigación, tales como el entrenamiento de seguridad para los bomberos, la evacuación de la población, y las intervenciones que promueven la preparación pre-incidente para los propietarios de viviendas en la forma de espacio defendible.

Una característica de los grandes incendios que se identifica comúnmente como una contribución al costo es una relativamente amplia categoría de peligros que podrían ser conceptualizados como de naturaleza sociopolítica. Estos incluyen los posibles daños o perjuicios a la imagen de la agencia o a la imagen de los gerentes de los distritos contra incendios por no tomar medidas, incluso si con esas acciones no es posible alcanzar un valor positivo con respecto a la gestión de las propiedades físicas del incendio (por ejemplo, extensión, daño, intensidad). La investigación sobre el papel de la confianza (como un elemento de capital social) ha sugerido la importancia de la confianza en la gestión eficaz y eficiente de los recursos naturales (por ejemplo, Cvetkovich y Winter 2007, Liljeblad y Borrie 2006). Sin embargo, no tenemos ninguna investigación hasta la fecha que identifique las vías por las que el capital social (y la confianza) entre en las decisiones del manejo del fuego que se ocurren en el momento de un incidente. Tales decisiones incluirían el nivel de los recursos asignados, agresividad relativa de las estrategias y tácticas, la eficiencia global de la respuesta a incidentes, y las respuestas a eventos de los medios.

Elaboramos la hipótesis de que el concepto de riesgo en el manejo de grandes incendios se extiende más allá de la posibilidad de daños físicos e incluye daños potenciales percibidos en forma de impactos a la carrera profesional o impactos a las percepciones de liderazgo o de gestión daño social que pueden corresponder al personal directivo. Estas percepciones pueden surgir de la creencia generalizada de que es mejor hacer todo lo que se puede hacer, incluso si dicha actividad no produce un resultado físico positivo, pero no produce un resultado psicosocial valorado. La hipótesis se basa en la idea de que la gestión del riesgo puede tener como meta u objetivo una variedad de propósitos, algunos de los cuales son no físicos.

Las implicaciones de esta hipótesis se extienden a enfoques alternativos para dar cuenta de los costos de los grandes incendios. Las estrategias y acciones del manejo del fuego tomadas en los intereses de los asuntos socio-políticos, y para alcanzar los objetivos sociopolíticos pueden impactar significativamente los costos de los incendios. Estos impactos pueden estar mucho más allá de aquellos debidos a los atributos o características físicas de los valores en riesgo (por ejemplo, la infraestructura crítica). La investigación aquí propuesta nos conducirá en la dirección de una identificación más completa de las estrategias de manejo del fuego como un predictor de costo de grandes incendios.

Métodos

La metodología para esta investigación está basada en una combinación de entrevistas estructuradas y auto-informes de los gerentes de distritos contra incendios, incluidos los administradores de la agencia, los oficiales de manejo del fuego y el

personal de comando de incidentes que sintetizan sus experiencias en incidentes de incendios específicos. Además, la información también es colectada de una serie de bases de datos existentes relacionadas con incendios, en particular el sitio web *Fire & Aviation Management* (FAMWEB), el Sistema de Soporte de Decisiones sobre Incendios Forestales (WFDSS, por sus siglas en inglés), y el sitio web incidente en línea InciWeb.

Un protocolo de auto-informe ha sido desarrollado que también sirve 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:

- Influencias y presiones políticas, incluida la participación directa de personas influyentes (por ejemplo, los funcionarios electos), y grupos influyentes (por ejemplo, grupos culturales /tribales, grupos públicos).
- Informes y cobertura de los medios, incluyendo los tipos de medios de comunicación (por ejemplo, transmisión, impresión, internet), 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.
- Las medidas adoptadas para gestionar las presiones o los objetivos sociopolíticos, incluidas las estrategias de incidentes, tácticas de incidentes, cambios en los objetivos, y cambios en el número y tipo de los recursos de supresión.

La información adicional sobre cada incidente es obtenida de las tres bases de datos indicadas arriba. FAMWEB proporciona acceso al formato de informe diario ICS-209 que documenta de forma regular el estatus de un incidente, incluyendo su tamaño, la dotación de personal, los valores en riesgo y los objetivos de la gestión. El WFDSS proporciona (en muchos casos) información más completa sobre las estrategias de incidentes, los valores en riesgo y el fundamento de la decisión. InciWeb ofrece un panorama muy accesible de los incidentes que se actualiza de manera continua, y proporciona una indicación temprana de incidentes que son adecuados para estudiar.

Los incidentes son 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 son seleccionados para el estudio; los incidentes son gestionados por cualquiera, un equipo de manejo de incidentes (IMT, por sus siglas en inglés) tipo I o tipo II; y que tengan un costo de \$

5.000.000 o más. Sin embargo, hemos estado siguiendo incidentes hasta el nivel de >\$ 2 millones para incrementar el tamaño potencial de nuestra base de datos. Los años de incendios 2009, 2010 y 2011 fueron relativamente lentos en las regiones 5 y 6, y los costos de los incendios fueron algo inferiores a la media.

Para cada incidente, una Línea de Tiempo de Incidente es preparada con base en información de las diversas fuentes de documentación de información mencionadas anteriormente. Además, otra información de incidentes se codifica, incluyendo los eventos clave, la causa del incendio, el tamaño del incendio, los niveles pico de los recursos, las estrategias y tácticas, las ocurrencias de lesiones y muertes, y las amenazas/pérdidas a valores críticos (por ejemplo, residencias).

Resultados preliminares

A la fecha de este escrito, hemos establecido una base de datos de 32 incidentes de grandes incendios de acuerdo con los criterios descritos anteriormente (23 en la Región 5; 9 en la Región 6). Estos incendios son para las temporadas de incendios de 2009, 2010 y 2011. Para la temporada de incendios de 2012, actualmente estamos añadiendo casos a la base de datos. Aunque es demasiado pronto para sacar conclusiones terminantes, sí tenemos algunas especulaciones basadas en los resultados preliminares.

- La terminología "sociopolítico" parece aplicarse a una amplia gama de factores sociales que tienen una relación con un incidente de incendio; ésta puede incluir factores que influyen en las decisiones de incidentes (tales como los grupos de interés locales, actores políticos) y los factores que son el resultado de los resultados de los incidentes. Como un gerente de distrito de incendios lo expresa: "Los valores en riesgo que tienen implicaciones sociopolíticas en función de los resultados". Así, los factores sociopolíticos parecen ser tanto una influencia en el manejo del fuego, como el resultado del manejo del fuego. Esfuerzos de modelado previos han identificado distintas categorías de factores sociopolíticos y les han caracterizado en términos de influencias del legado, de pre-incidente, y específicas de incidente (MacGregor y González-Cabán 2008).
- Parece que hay una categoría de incidentes que están *vinculados* a otros incidentes a través de elementos del capital social. En estos casos, un incidente de incendio ocurriendo en un lugar y tiempo puede tener su respuesta de gestión guiada en parte por consideraciones de capital social de un incendio anterior en el que se perdió o degradó capital social por las características de ese incidente anterior. Los incidentes vinculados de esta manera no son "visibles" a través de las características biofísicas del

- ambiente del fuego, sino que se vinculan a través de las implicaciones sociales de la gestión de incidentes y los resultados de los incidentes.
- A partir de 2009, el Servicio Forestal del USDA llevó a cabo un importante esfuerzo a nivel nacional para introducir la evaluación estructurada de riesgos y los principios de gestión del riesgo en el manejo del fuego. Este esfuerzo hizo hincapié en la consideración cuidadosa de la exposición del bombero a los riesgos inherentes de los incendios forestales e hizo un llamado para equilibrar esos riesgos contra la probabilidad de éxito de las operaciones del manejo del fuego. Además, se estableció un enfoque estructurado para la evaluación del riesgo que pidió una consideración explícita de las estrategias alternativas o “perspectivas” de manejo del fuego que contrastó una gama de niveles de compromiso de las más agresivas (por ejemplo, el ataque directo) a las menos agresivas (por ejemplo, ataque indirecto, punto de protección). Los efectos de este esfuerzo son más visibles en el manejo de los incendios para los años 2010 y 2011, y parecen serlo aún más para este año de 2012.
 - El capital social es un recurso general que tiene valor y utilidad en una amplia gama de actividades de la unidad de gestión, y en particular de proyectos extra-incendio que constituyen el plan de trabajo relacionado con el manejo de los recursos. Cuando el capital social es impactado por el manejo del fuego, parece haber un *efecto de transferencia* por el que el capital social se reduce para otros fines extra-incendio como los proyectos que requieren del público para ser observados y revisados bajo la NEPA (ver MacGregor y Seesholtz 2008). Este efecto puede ser moderado por el grado en el que el público es agrupado o segmentado en términos de intereses. El tipo y el alcance de esta compartimentación puede ser variable a través de las unidades de manejo y diferir con situaciones de gestión.
 - En algunas circunstancias de manejo del fuego hemos observado que los administradores de agencia pueden tener dificultades para evaluar la medida en la que tienen capital social y pueden tender a sobrestimar la cantidad de capital social que tienen.
 - En general, la información de los medios parece retrasar en lugar de orientar las decisiones de incidentes para el tipo de incendios seleccionados para el estudio. Sin embargo, se requiere más análisis sobre este punto antes de que sea claro cómo y en qué medida los reportes de los medios de comunicación interactúan con la toma de decisiones de incidente.
 - El concepto de riesgo profesional, aunque anecdóticamente caracterizado en términos de recisión, parece ser en realidad más complejo y mejor

caracterizado en términos de capacidad de funcionar de manera eficaz y eficiente.

- Los gerentes de distritos contra incendios tienen grandes preocupaciones acerca de la manera en que son percibidos como líderes tanto por su personal y por las partes interesadas. La percepción del liderazgo parece ser un componente importante de riesgo profesional en el que la pérdida de imagen de liderazgo puede afectar significativamente la capacidad de los gerentes distritos contra incendios para funcionar en roles que son parte de sus actividades extra-incendios (por ejemplo, la administración de la agencia).

Sumario

La gestión del riesgo es inherente al manejo del fuego, y en ese contexto se extiende más allá de las características biofísicas del fuego para incluir factores sociales y de gestión. Dos grandes clases tales factores incluyen riesgo para la imagen de liderazgo de los gerentes de distritos contra incendios y el riesgo para el capital social. El presente estudio, actualmente en curso y todavía inconcluso, sugiere con base en resultados preliminares que asumir una perspectiva más amplia sobre el riesgo puede proporcionar un camino conducente al entendimiento de los factores que influyen en la toma de decisiones basadas en el riesgo en maneras aún no consideradas. La identificación de estos factores normalmente no reconocidos y/o tomados en cuenta explícitamente en el proceso de toma de decisiones de los gestores de incendios daría lugar, con suerte, a un reconocimiento e internalización de estos factores en sus decisiones.

Agradecimiento

Esta investigación fue financiada por el Acuerdo No. 09-JV-11272165-072 entre el Servicio Forestal de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Pacífico Suroeste y MacGregor-Bates, Inc.

Referencias

- Bourdieu, P.** 1986. The forms of capital. In J. Richardson (Ed.) *Handbook of theory and research for the sociology of education* (pp. 241-258). New York: NY: Greenwood.
- Coleman, J. S.** 1990. *Foundations of social theory*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- 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.

- Fischer, E.V., Mackey, K.R.M., Cusack, D.F., DeSantis, L.R.G., Hartzell-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*, 92, 311.
- Fukuyama, F.** 2002. Social capital and development: The coming agenda. *SAIS Review*, 22, 23-37.
- 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. Pap. PSW-RP-258. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 67 p.
- MacGregor, D. G., Seesholtz, D. N.** 2008. Factors influencing line officers' decisions about National Environmental Policy Act project design and development. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-766. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 27 p.
- National Research Council.** 2009. *Science and decisions: Advancing risk assessment*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Paromita, S.** 2009. From credit to collective action: The role of microfinance in promoting women's social capital and normative influence. *American Sociological Review*, 74, 529-550.

Análisis de la Simulación de un Sistema de Extinción de Incendios Forestales¹

Abílio Pereira Pacheco², João Claro², y Tiago Oliveira³

Resumen

Reavivamientos y falsas alarmas son inusualmente altos en el sistema portugués de manejo de incendios forestales, lo que representa una pesada carga para los medios de extinción en particular, y de los recursos de manejo del fuego en general. En 20.049 ocurrencias que el sistema de supresión manejó en el verano de 2010, el 12,5% fueron falsas alarmas y el 15% fueron reavivamientos. Se presenta en este trabajo un modelo de simulación de eventos discretos de un sistema de extinción de incendios forestales, diseñado para analizar el impacto conjunto de igniciones, reavivamientos y falsas alarmas sobre el rendimiento del sistema. El trabajo contribuye a llenar un vacío en la investigación relativa a ese impacto, y cuenta con una novedosa aplicación de simulación para sistemas de extinción, como herramientas para apoyar los análisis más holísticos. El modelo se implementó en ARENA® y se usó para un estudio de un distrito portugués. Se encontró que reduciendo las falsas alarmas y el reavivamiento a los valores de referencia reducirían de manera significativa la presión en los equipos de extinción de incendios, lo que permite operaciones de extinción más eficaces.

Palabras clave: Incendio premeditado, Falsa Alarma, Llamadas falsas, Reavivamiento, Simulación de Eventos Discretos

Introducción

Durante el verano de 2010 Portugal registró 2,497 reavivamientos, un incremento del 17.2% para los 14,551 incendios forestales que condujeron a un total de 17,048 incendios forestales (Pacheco y otros 2012). Sin embargo, esta cifra puede en realidad ser más amplia. Varios autores indican que el número de incendios forestales reavivados es más alto que lo que oficialmente se reporta (ANIF 2005, Lourenço y Rainha 2006), y expertos que hemos entrevistado señalan el doble. Aun suponiendo

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales: 5-11 de noviembre de 2012, Ciudad de México, México.

² Estudiante Graduado y Profesor respectivamente, INESC TEC (antes INESC Porto) y Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 378, 4200-465 Porto, Portugal; email: abilio.pacheco@fe.up.pt; jclaro@fe.up.pt.

³ Protección Forestal, Grupo Portucel Soporcel; Edificio Mitrena, Apartado 55, 2901-861 Setúbal, Portugal; e-mail: tiago.oliveira@portucelsoporcel.com.

que los datos reportados son correctos, la proporción de reavivamientos es demasiado alto (Beighley y Hyde 2009). Esta situación se ha agravado con los años (ANIF, 2005), y es sobre todo el resultado de la ineficacia de operaciones de limpieza (Lourenço and Rainha 2006, Murdock and otros 1999, Lourenço 2007, ISA 2005, ANIF 2005, Beighley y Hyde 2009), a pesar de un ataque inicial eficaz (ANIF 2005, Lourenço 2007, Lourenço and Rainha 2006) . Un limpiamiento ineficaz y la falta de vigilancia (Lourenço 2007) conducen a un reavivamiento que a menudo se convierte en grandes incendios (ANIF 2005, Lourenço 2007, Lourenço y Rainha 2006). Estos son por lo general más grandes que el mal juzgado fuego primario extinguido, con grandes superficies quemadas y daños considerables (ANIF 2005), incluso cuando el perímetro inicial era sólo de decenas de metros (Lourenço y Rainha 2006).

Además de los reavivamientos, que son algunas veces erróneamente interpretados por el público como incendios premeditados (Lourenço y Rainha 2006), el sistema de extinción de incendio también se enfrenta a las falsas alarmas – llamadas maliciosas o de buena intención hechas a los centros de llamadas y de bomberos. Porque no pueden suponer que una llamada es una falsa alarma y deben responder como si hubiera realmente un incendio (Ahren 2003) las llamadas falsas representan un desperdicio de energía para los equipos de extinción. Esto significa que 3,001 eventos más de esta clase (20.6% de los incendios principales) se agregan a los 17,048 incendios forestales, con reavivamiento y falsas alarmas representando en total 27.4% de los 20,049 casos.

Esta proporción enorme nos motivó a analizar el impacto conjunto de los incendios primarios, reavivamientos y falsas alarmas sobre el desempeño del sistema de extinción, mediante un método de simulación de eventos discretos (DES).

Este artículo está organizado de la siguiente manera. En la próxima sección, exploramos la naturaleza, fuentes e implicaciones del reavivamiento y las falsas alarmas. La siguiente sección presenta las fuentes de los datos, describe el modelo y brevemente explica cómo se construyó la simulación. En seguida presentamos los resultados de la simulación y subrayamos los descubrimientos más relevantes. La sección final discute los puntos principales y presenta las conclusiones.

Marco del problema

En esta sección utilizamos la literatura y las entrevistas con los expertos para proponer y describir tres grandes grupos de causas de reavivamientos del fuego: las características del sitio físico (tipo de suelo y de combustible), técnicas ineficaces contra incendios (ausencia de uso de las herramientas, deficiente patrullaje y construcción de una línea de fuego) y la existencias de doble función para los bomberos. Enseguida, examinamos la naturaleza y causas de las falsas alarmas, así

como también las estrategias para disminuir su número. Finalmente, proporcionamos valores de referencia para estos dos tipos de hechos, utilizados después como objetivos en el estudio DES.

Deficientes limpiamientos y reavivamientos

Después de establecer las líneas de control alrededor del perímetro del incendio, los bomberos empiezan a solidificarla trabajando hacia el interior (Martell 2007). Cuando el incendio está bajo control, empieza el limpiamiento, y después, el área debe patrullarse antes de que pueda declararse que el fuego ha sido realmente extinguido (Alexander 2001, Martell 2007, Murdock y otros 1999). Realizado a lo largo de la línea de control de incendios, el limpiamiento implica la detección y neutralización de todas las áreas calientes (Figura 1). Los puntos calientes pueden identificarse por el olor de humo, señales visibles (humo, cenizas blancas, nubes de mosquitos, olas de calor, vapor), los signos sonoros (crepitar de las brasas, silbido del vapor de salida) o por contacto (casi tocando el suelo con la mano). De hecho, una pequeña chispa cerca de la línea de control puede causar un reavivamiento posterior (Murdock y otros, 1999). La etapa de limpiamiento puede durar varios días, incluso semanas (Martel 2007) y puede fácilmente tardar tres veces más que el tiempo que se utilizó para declarar que el fuego estaba bajo control, en los incendios de más de 100 ha (ANIF 2005). En general, es una etapa costosa que consume mucho tiempo (González-Cabán 1984).



Figura 1—Antes y después de un reavivamiento: señales de un deficiente limpiamiento (izquierda) y hoyos causados por fuego subterráneo (derecha).

Los reavivamientos o re-igniciones, por definición, son incendios que re-queman un área sobre la cual ha pasado un fuego anterior, dejando combustible que más tarde se incendia debido al calor latente, chispas o brasas (NWCG 2001). Pueden producirse, por ejemplo, en los complejos de combustible que exhiben cargas pesadas de combustible y profundas capas orgánicas. Principalmente bajo la hojarasca en

descomposición, se encuentra una capa compacta orgánica en el que los fuegos de tierra o debajo de la superficie se mantendrán ardiendo lentamente (Lourenço y Rainha 2006). Las áreas cercanas a los ríos, turberas, bosques antiguos y grandes troncos en descomposición son propensas a la persistencia de dicho incendio, como consecuencia de la sequedad dejada después del paso del frente del fuego principal. Esto sucede especialmente en los grandes períodos de sequía o las sequías (Henderson y Muraro 1968, Alexander 2001). Tal quemado subterráneo (Figura 1) en una etapa latente puede estallar en llamas cuando llega a la superficie exponiendo este combustible calentado al aire (NWCG 2005). Las características físicas del sitio, sin embargo, no explican la variación observada en costos de limpiamiento (Donovan y Brown 2005). Así factores naturales (condiciones climáticas, la concentración espacio-temporal) y de organización (gestión de recursos humanos y de equipo) deben considerarse (AFN 2011). Este es el caso del Portugal continental, donde a través de los 18 distritos el incremento de los reavivamientos más allá de los incendios primarios variaron de cero a 85%, con la mitad de los distritos presentando proporciones por encima del 9,3% (Pacheco y otros 2012).

Las principales razones para muchos de estos reavivamientos en Portugal son: limpiamientos inadecuados cuando los incendios ocurren en áreas de difícil acceso (Beighley y Hyde 2009); ausencia o construcción deficiente de una línea de fuego utilizando los caminos existente o casas cercanas (Beighley y Hyde 2009, Lourenço y Rainha 2006); y el hecho de que los limpiamientos se realizan casi exclusivamente con agua, por lo general sin herramientas de mano que pudieran con seguridad consolidar el perímetro (Lourenço y Rainha 2006, Anif 2005, Beighley y Hyde 2009, ISA 2005). En realidad, es muy importante hacer una zanja hasta el suelo mineral (Oliveira, 2011), o regolito, donde el agua no penetra (Lourenço y Rainha 2006) y crear una discontinuidad entre las zonas quemadas y sin quemar (Lourenço y Rainha 2006) para prevenir la reactivación de los puntos calientes (Murdock y otros 1999).

La necesidad de abordar estos problemas se conoció en 2005 (ISA 2005, ANIF, 2005) y oficialmente se recibió en 2006 (CM 2006) después de los funestos incendios de 2003 (Fernandes 2008), repetidos dos años después. El gobierno autorizó una estrategia técnica (ISA 2005) para abordar este problema, y en 2006 una versión modificada (cambiando de un énfasis en la prevención a un aumento en la capacidad de extinción) se aprobó y publicó (CM 2006) como la estrategia nacional para la protección forestal contra los incendios (Beighley y Hyde 2009). Se autorizó la capacitación sobre el uso de herramientas de mano para los bomberos, junto con la adquisición de herramientas y el uso de excavadoras. La utilización de escáneres infrarrojos de mano para la detección de puntos calientes (Alexander 2001) se sugirió más tarde (Oliveira 2011). Además, se reconoció oficialmente que el avivamiento y la vigilancia son una parte integral de las operaciones de extinción de incendios

(ANIF 2005, Lourenço y Rainha 2006). La necesidad de mejorar la estructura de mando y de control (ISA 2005), establecer procedimientos y asignar responsabilidades también fue reconocida (ANIF 2005, Oliveira 2011). Finalmente, el plan reconoció el impacto de los reavivamientos y estableció su mitigación como una prioridad, con un objetivo del 1% para el 2010 y definido como un valor aceptable para el índice de reavivamientos (Oliveira 2011). Este objetivo no se logró nunca (AFN 2011) y de hecho puede ser considerado demasiado ambicioso si se compara, por ejemplo, con la misma estadística para los EE.UU. entre 2004 y 2008, que varía entre el 2% y el 6% (Ahrens 2010).

El hecho de que el número observado de alta reactivación resulte de un inadecuado manejo post-incendio y vigilancia activa (AFN 2011) ha llevado a algunos expertos a sugerir la creación de brigadas de cuadrillas especializadas, debidamente capacitadas en operaciones de limpiamiento (Beighley y Hyde 2009, ISA 2005). De hecho, las cuadrillas responsables de las operaciones de limpia son las mismas que se necesitan para la extinción de nuevos incendios (primarios o reavivados), y esta doble función debilita al sistema: los bomberos suelen dejar un fuego demasiado pronto para dedicarse a nuevos ataques iniciales (Beighley y Hyde 2009). Analizando las genealogías de los reavivamientos y utilizando el análisis de regresión lineal a través de localidades portuguesas, encontramos evidencia que apoya la hipótesis para seis de los siete distritos con un número relevante de reavivamientos (Pacheco y otros 2012).

Falsas y molestas llamadas de alarma

Una falsa alarma (FA) puede tener su origen en un informe malintencionado o malicioso (llamada falsa), o en una llamada de buenas intenciones por ejemplo, cuando el polvo originado por algún tipo de trabajos pesados se confunde con el humo lejano (AFN 2011). Un motivo clave para el fuerte crecimiento reciente de FA en Portugal, sugerido en las entrevistas con los expertos, es el cambio a una política de despacho de un "musculoso ataque" desde 2006: buscando la eliminación de un incendio en la primera intervención, un helicóptero se envía si está disponible. El conocimiento de este hecho lleva a algunos adultos y niños a alertar a los bomberos, con la esperanza de ver un helicóptero de cerca.

Existe escasa investigación disponible con estadísticas sobre este tipo de llamadas (Flynn 2009). Además, no es fácil de realizar comparaciones internacionales, debido al hecho de que en Portugal los sistemas de alarma no están conectados a los centros de comunicación. De hecho, el mal funcionamiento no intencionado de alarmas automáticas es responsable de aproximadamente un tercio de las falsas alarmas reportadas en los EE.UU. (Hershfield 1995, Karter, 2010, 2011), 42% en Londres

(Tilley 1997), 50% en Nueva Zelanda (Tu 2002) y el 62% en Tasmania, Australia (Killalea 1998). En el Reino Unido, considerando todas las llamadas de emergencia, los índices de llamadas falsas fueron 5.0% en Derbyshire (Yang y otros 2003) y 6.2% en South Wales (Corcoran y otros 2007).

Estas cifras sugieren la posibilidad de disminuir el número de falsas alarmas en Portugal. Por ejemplo, el Centro de Comunicación del Distrito de Porto (Porto CDOS) implementó una política de devolver una llamada si se origina en una escuela, y pidiendo hablar con el padre en caso de que se reconozca la voz de un niño. Según nuestros entrevistados, esta política permitió una reducción en el número de FA y puede explicar el hecho de que la tasa de distrito ahora es 2/3 de la tasa nacional (Pacheco 2011). Killalea (1998) también proporciona evidencia de una reducción similar dos años después de la aplicación de una política para identificar todos los números de la llamada. Sin embargo, antes de considerar medidas concretas conviene analizar y comprender las causas locales específicas de este fenómeno. Las diferencias encontradas en diversos estudios muestran la importancia de no hacer suposiciones prematuras acerca de sus causas (Corcoran y otros 2011, Corcoran y otros 2007). Sólo la obtención de información precisa acerca de las FAs, es decir, su tipo y origen, permite a las autoridades identificar las áreas de riesgo y diseñar políticas y estrategias de intervención para sus poblaciones (Flynn 2009)

Datos y Métodos

Para nuestro estudio, usamos datos proporcionados amablemente por la “Autoridade Florestal Nacional” (AFN, el Servicio Forestal Portugués). Este conjunto de datos se ha mantenido estable durante los últimos doce años, y contiene la ubicación del incendio y el tiempo (es decir, alerta, ignición y extinción), superficie quemada, tipo de evento (por ejemplo, alarma falsa, incendio agrícola o forestal), su causa y naturaleza. La distinción entre el fuego solo o reavivado (su naturaleza) se registra desde 1984 (Pereira y otros 2011), pero 2010 es el primer año por el que se puede conectar a un reavivamiento con el fuego específico cuyo deficiente limpiamiento lo originó.

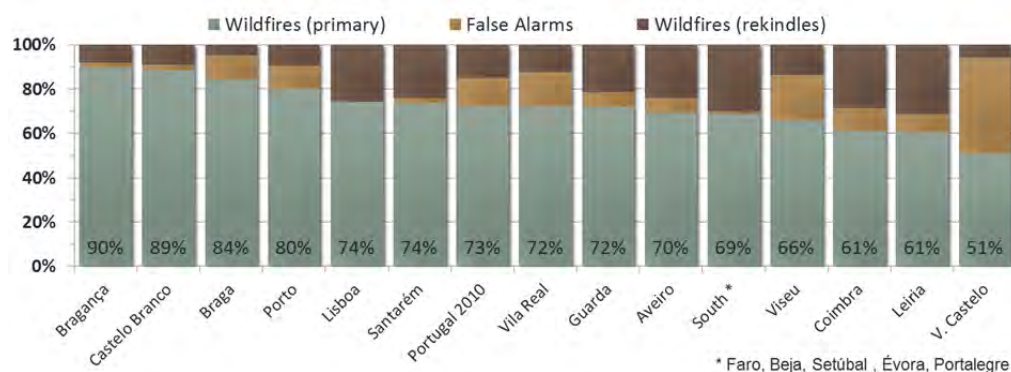


Figura 2—Porciones de incendios primarios, falsas alarmas y reavivamientos (2010, verano).

La parte continental de país está dividido en dieciocho distritos principales (regiones administrativas) con sus correspondientes municipios (278 municipios). Las importantes diferencias geomorfológicas, climáticas y demográficas a lo largo del país (Pereira y otros 2011), y la heterogeneidad de las políticas de manejo del fuego, y la supresión y los esfuerzos de prevención (por ejemplo, Figura 2), que se organizan a nivel de distrito, justifican considerar al distrito como una unidad de análisis.

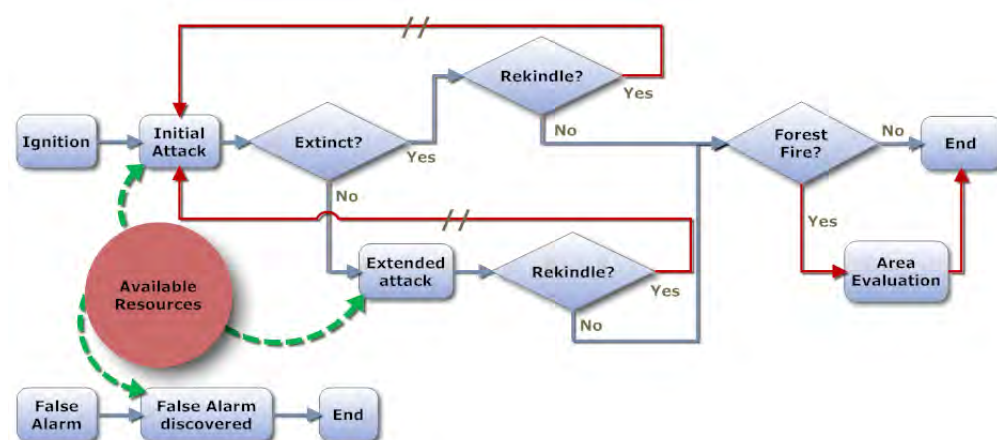


Figura 3—Modelo conceptual de un sistema de extinción de incendio forestal

El diseño de nuestro modelo conceptual para el sistema de extinción de incendios forestales (Figura 3) se basó en la revisión de la literatura, trabajo de campo que incluía visitas a los centros de comunicación de los bomberos, rodales e incendios forestales, y entrevistas formales e informales grabadas con expertos. Para modelar explícitamente las cuadrillas disponibles de bomberos, se utilizó una segunda base de

datos (gentilmente suministrada por CDOS Porto) con los detalles de las intervenciones de extinción de incendios. Por último, el modelo fue implementado en ARENA®, y se utilizó para el estudio del distrito de Oporto entre los meses de julio y septiembre de 2010.

Existen cuatro motivos para la elección de este estudio de caso: Porto cuenta con un elevado número de ocurrencias de incendios, y están disponibles datos detallados sobre los recursos movilizados; la proporción de reactivaciones y falsas alarmas es ligeramente inferior, pero aun en línea con las cifras nacionales, el 84% de los incendios, lo que corresponde al 96% de la superficie quemada, se producen en este período de tres meses (Pacheco 2011), y 2010 es el primer año para el cual datos apropiados de falsas alarmas están disponibles, proporcionando (como se mencionó antes) la oportunidad de reconstruir las cadenas de los limpieamientos y reavivamientos que se inician desde el primer fuego, por primera vez (Pacheco y otros 2012).

Las bases de datos de AFN y CDOS Porto se fusionaron y se utilizan para configurar y validar el modelo, que posteriormente fue utilizado en los análisis de sensibilidad y optimización para comprender mejor los efectos de los factores en estudio.

Resultados Preliminares

En esta sección describimos brevemente la implementación de nuestro modelo (Figura 3) como un DES en ARENA® y cómo se han utilizado los resultados del análisis de datos de las bases de datos de la combinación de AFN y CDOS Porto para parametrizarlos (Tabla 1).

Tabla 1—Parámetros esenciales del modelo (IA/EA: ataque inicial /ampliado).

Arrivals	New Fire	A Class	24	parameters	(hourly)
		B Class	24	parameters	(hourly)
	Rekindle	A Class	24	parameters	(hourly)
		B Class	24	parameters	(hourly)
	False Alarm	A Class	24	parameters	(hourly)
		B Class	24	parameters	(hourly)
Durations	New Fire	A Class	1	parameter	Empirical Dist.
		B Class	1	parameter	Empirical Dist.
	Rekindle	A Class	1	parameter	Empirical Dist.
		B Class	1	parameter	Lognormal Dist.
	False Alarm	A Class	1	parameter	Lognormal Dist.
		B Class	1	parameter	Lognormal Dist.
Initial Attack (End)	New Fire	A Class	2	parameters	end, tuning
		B Class	2	parameters	end, tuning
	Rekindle	A Class	2	parameters	end, tuning
		B Class	2	parameters	end, tuning
Resources	New Fire	A Class	2	parameters	(IA / EA)
		B Class	2	parameters	(IA / EA)
	Rekindle	A Class	2	parameters	(IA / EA)
		B Class	2	parameters	(IA / EA)
	False Alarm	A Class	1	parameter	no EA
		B Class	1	parameter	no EA
Burned Area	Stands	A Class	1	parameter	regression
		B Class	1	parameter	regression
	Forest	A Class	1	parameter	regression
		B Class	1	parameter	regression

El modelo de simulación ARENA[®] (AMS) tiene tres secciones principales, modelamiento de fuegos primarios, reavivamientos y falsas alarmas. En una cuarta sección final calculamos el número total de incidentes, evaluamos las áreas quemadas de bosque y tierras de arbustos como una función de la duración del incendio (incluyendo el tiempo de espera), y computamos las pérdidas de valor y las emisiones de CO₂ (AFN 2011), Narayan y otros 2007). Se evaluaron las pérdidas de valor de dos maneras alternativas: usando un instructivo oficial de AFN (AFN 2011); y de acuerdo con el instructivo de la propuesta del Plan Nacional para la Prevención y Protección del Bosque contra Incendios (ISA 2005) que incluye pérdidas de valores no-maderables (por ejemplo, “actividades recreativas” y “uso indirecto).

Las tres secciones principales del ASM tienen en común dos componentes: (1) la entrada del fuego primario, reavivamientos y falsas alarmas; y (2) la confirmación como ataque inicial de fuego primario o reavivamiento, o falsa alarma. Se usa un tercer (3) componente para estimular el ataque ampliado para los incendios primarios y reavivamientos en el caso de un escape de fuego. Los últimos dos componentes también incluyen la asignación de los recursos, especialmente para la operación de verificación de falsas alarmas (con una duración promedio de 62.8 minutes). A pesar de la separación del modelo del fuego primario y reavivamiento, simplemente los

llamaremos “igniciones”, y nombramos los tres componentes antes mencionados como "entradas" (1), "ataque inicial" (2) y "ataque ampliado" (3), respectivamente.

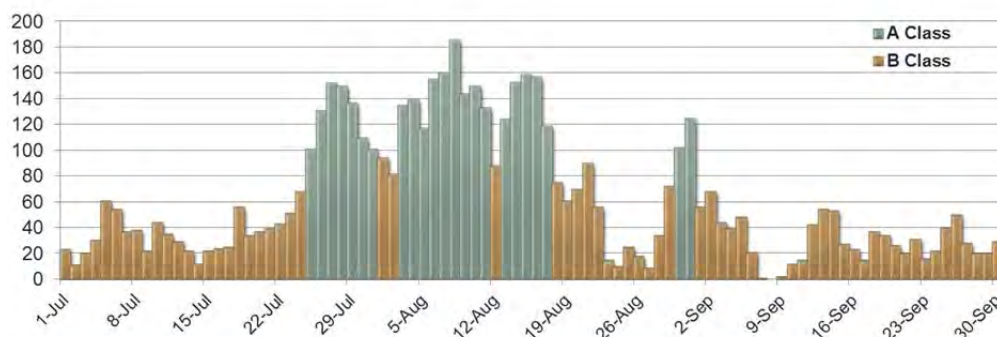


Figura 4—Clase de severidad diaria a lo largo del verano de 2010 en el distrito de Oporto.

El componente “entradas” (1) distingue entre dos clases de severidad en los días que están relacionados con el número total de incidentes (igniciones y falsas alarmas) durante el día. Estudiando los números diarios de incidentes, encontramos una división clara de alrededor de 100, y nuestras entrevistas con CDOS Oporto confirmaron este umbral, i.e., hasta 100 incidentes diarios, la asignación de recursos es de fácil manejo y la capacidad de respuesta es claramente apropiada. Por lo tanto consideramos una severidad "clase B" por debajo de 100 incidencias/día, y una severidad "clase A", arriba (Figura 4) de ese umbral.

Además, como el número de incidentes varió significativamente a lo largo del día (Bookbinder y Martell 1979), hemos implementado las entradas como un proceso de Poisson no estacionario, teniendo en cuenta tasas de entrada que cambian cada hora durante el día. Utilizando datos de Bookbinder y Martell (1979), y el análisis de la base de datos de AFN, en la Figura 5 se muestra una comparación entre la región del noroeste de Ontario, en Canadá (1967-69) y Portugal (2001-10), teniendo en cuenta sólo los cuatro meses más fríos (noviembre a febrero), así como de todo el año. En los dos primeros casos, la misma forma como de camello es visible. En cuanto al tercer caso, la forma como campana podría ser el resultado de la huella humana, ya que aproximadamente el 98% de los incendios en Portugal fueron causados por el hombre, en contraste con el 65% para el primer caso (Cunningham y Martell 1973).

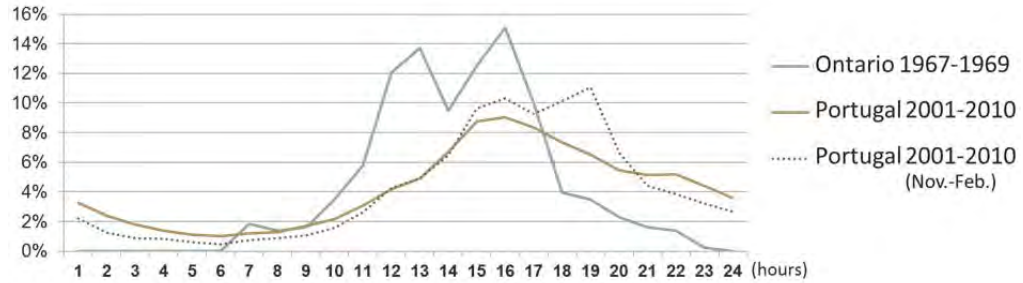


Figura 5—Entradas como proceso de Poisson no estacionario cambiando cada hora a lo largo del día.

El componente “ataque inicial” (2) inicia atribuyendo a cada ocurrencia de entrada su duración y los recursos necesarios (un equipo de tierra y, en su caso, un helicóptero). En nuestro modelo, la disciplina de fila es siempre FIFO y los recursos tienen la misma prioridad de asignación. Si la duración del incendio sobrepasa la duración máxima de un ataque inicial, entra el componente de ataque ampliado (3), de lo contrario el fuego se considera extinguido y los recursos son liberados.

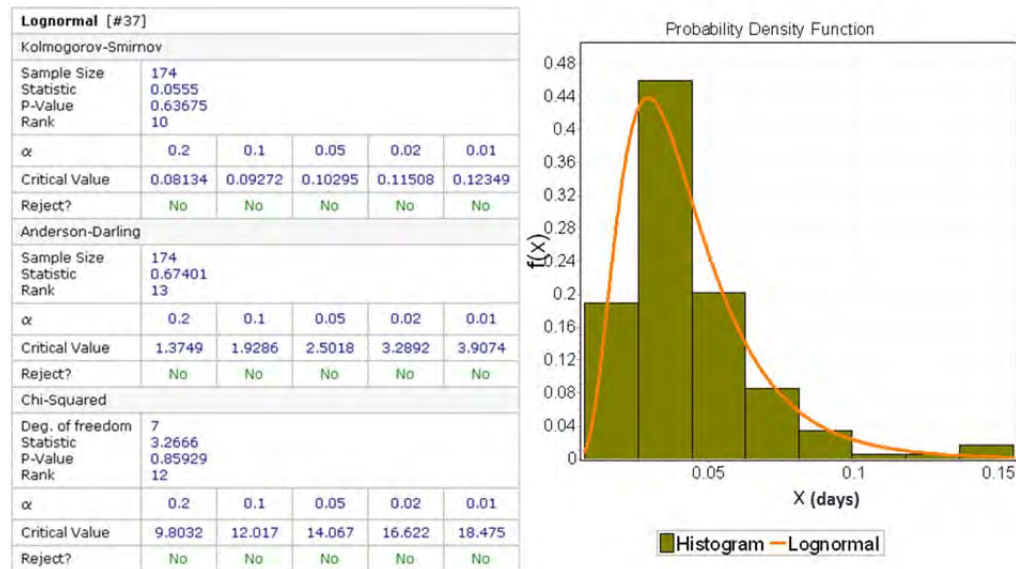


Figura 6—Duración de Falsa Alarma en un día Clase B (Porto, 2010, verano) y la distribución lognormal elegida: $\sigma = 0,51079$, $\mu = -3,2822$, LOGN (0.04278,0.02336).

La duración del incendio se modela con distribuciones de probabilidad. Entre las distribuciones de probabilidad clásicas disponibles en Arena®, hemos elegido la de mayor ajuste y no rechazado, en el $\alpha = 0.01$ nivel de significación. En la mitad de los casos (Tabla 1), la distribución logarítmica normal tuvo un mejor ajuste y fue

escogida (por ejemplo, Figura 6 para alarmas falsas en días de clase B). Cuando esto no fue posible, se utiliza una distribución empírica (Tabla 1) ajustada con el analizador de entrada Arena®. La distribución lognormal tiene la cola más larga dentro del conjunto de distribuciones ofrecidas por este software, y eso podría explicar por qué ofreció el mejor ajuste. También probamos nuestros datos con EasyFit® y se encontró que las distribuciones Burr, Dagum, y Fréchet siempre demostraron tener mejor ajuste, pero por desgracia no había ninguna disponible como opción.

Para establecer el umbral en la duración de fuego en el que la transición entre el ataque inicial y ampliado ocurre, es decir, distinguir entre incendios suprimidos en el ataque inicial y los que escaparon, se utilizaron los datos combinados (AFN y CDOS Porto) y análisis de sensibilidad con este ASM para identificar a un valor coherente con nuestros datos de campo para cada tipo de ignición (fuego primario o reavivamiento) y clase de severidad.

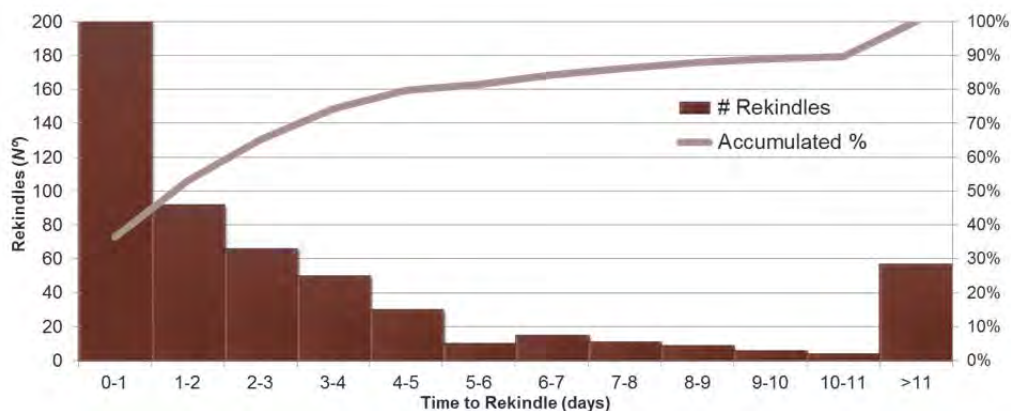


Figura 7—Reavivamientos como una función del tiempo para reavivar (Porto, 2010, verano)

Elegimos modelar los reavivamientos con la misma lógica que hemos modelado el fuego primario, es decir, por separado, en lugar de como resultado de malos limpieamientos de los incendios primarios, ya que el tiempo para una reactivación del fuego después de un deficiente limpieamiento tiende a ser grande - 3,96 días en promedio en el distrito de Oporto, en el verano de 2010 (Figura 7).

Los incendios que escapan el ataque inicial entran en el componente "ataque ampliado" (3) y más recursos se asignan a ellos durante el tiempo restante. Analizando los conjuntos de datos combinados antes mencionados, pudimos estimar los recursos (número de equipos de cuadrillas) asignados al ataque ampliado, de nuevo teniendo en cuenta las dos clases de severidad y para los dos tipos de igniciones. En cuanto al ataque inicial, consideramos además los recursos asignados a

las falsas alarmas (bajo las dos clases de severidad). En los seis casos, encontramos evidencia en los datos de que la norma oficial de mandar dos cuadrillas para cada ataque inicial no se está estrictamente aplicando en la práctica, un hecho sugerido en nuestras entrevistas con los expertos, que podría atribuirse a la capacidad insuficiente de recursos durante el verano en el distrito de Oporto.

Todos los cuatro principales componentes descritos son regidos por un último (quinto) componente lógico de control, que implementa el cambio del día, su clase de severidad y el proceso de creación de nuevos incidentes. Los parámetros esenciales de los ASM se enlistan en la Tabla 1, y la Figura 8 muestra un ejemplo de la parametrización regional del distrito de Porto.

	Name	Rows	Columns	Data Type	File Name	Expression Values
1	Wildfire_Length	1	2	Native		2 rows
2	FA_Discovery_Length	1	2	Native		2 rows
3	Reignition_Length	1	2	Native		2 rows
4	r_IA	1	2	Native		2 rows
5	r_AA	1	2	Native		2 rows
6	Reignition.r_IA	1	2	Native		2 rows
7	Reignition.r_AA	1	2	Native		2 rows
8	FA.r	1	2	Native		2 rows
9	Area_Stands			Native		1 row
10	Area_Forest			Native		1 row
11	At			Native		1 row
12	IA_N_MAX_Length	1	2	Native		2 rows
13	IA_R_MAX_Length	1	2	Native		2 rows
14	FFA.r			Native		1 row
15	FFA_Discovery_Length			Native		1 row
16	Losses_Products_Services_AFN			Native		1 row
17	CO2_Emissions			Native		1 row
18	Timber_Products_Value_Losses			Native		1 row
19	Non_Timber_Products_Value_Losses			Native		1 row
20	Recreational_Activities_Value_Losses			Native		1 row
21	Indirect_Use_Value_Losses			Native		1 row

Expression Values	1	2
CONT (0.000, 0.000,		LOGN(0.1096, 0.08878)
0.184, 0.050, 0.567,		
0.100, 0.727, 0.150,		
0.808, 0.200, 0.856,		
0.250, 0.887, 0.300,		
0.898, 0.350, 0.906,		
0.400, 0.921, 0.450,		
0.934, 0.500, 0.942,		
0.550, 0.955, 0.600,		
0.955, 0.650, 0.955,		
0.700, 0.961, 0.750,		
0.966, 0.800, 0.971,		
0.850, 0.971, 0.900,		
0.974, 0.950, 0.976,		
1.000, 0.979, 1.050,		
0.982, 1.100, 0.982,		
1.150, 0.984, 1.200,		
0.990, 1.250, 0.990,		
1.300, 0.990, 1.350,		
0.992, 1.400, 0.995,		
1.450, 0.995, 1.500,		
0.997, 1.550, 0.997,		
1.600, 0.997, 1.650,		
0.997, 1.700, 0.997,		
1.750, 0.997, 1.800,		
0.997, 1.850, 1.000,		
1.900, 1.000, 1.950,		
1.000, 2.000)		

Figura 8—Parametrización de las expresiones (detalle de la implementación ARENA®)

Discusión y Conclusión

A lo largo de la implementación y parametrización de la AMS, aseguramos que los resultados del modelo fueran consistentes con los datos reales, que consideramos nuestro escenario base. Para el escenario alternativo de referencia bajo análisis, y de acuerdo con la sección segunda de este artículo (marco del problema), se consideró para los reavivamientos el objetivo oficial de un 1% (AFN 2011, ISA 2005), y para falsas alarmas la mitad del nivel actual en el distrito de Oporto - una reducción

razonable de acuerdo con los estándares de referencia internacionales (Corcoran y otros 2007, Karter 2010, 2011, Tu 2002, Yang y otros, 2003).

Corrimos el ASM para los dos escenarios, con 500 repeticiones, para cada nivel de recursos de 90 a 128, estable durante la temporada de incendios de verano de 92 días (con "días" como el paso de tiempo de simulación reloj) y calcular el tiempo medio de espera más las 500 repeticiones. Los resultados se presentan en la Figura 9, y como en el caso del estudio de Podur y Martell (2007) en los grandes incendios forestales en Ontario, este número de repeticiones proporcionó intervalos razonables de confianza del 95%.

Las falsas alarmas desvían recursos de extinción de los incendios forestales reales, y los reavivamientos tienen las operaciones de extinción mucho más difíciles. Nuestros análisis de datos del manejo de recursos de incendios forestales en el distrito de Oporto durante el verano de 2010 destaca la importancia de abordar los fenómenos de reavivamiento y falsas alarmas. En conjunto, representaron el 27.4% de las incidencias: 5,498 de 20,049 en el año. En otras palabras, esta adición de 5,498 a 14,551 incendios primarios trajo al sistema de extinción de incendios un extra de 37.8% de esfuerzo. De hecho, esta presión adicional plantea difíciles retos al manejo del sistema de extinción. Por ejemplo, el hecho de que el número promedio de las cuadrillas enviadas a los ataques iniciales es mucho menor que lo recomendado (como hemos encontrado en nuestro análisis de datos), es una evidencia de esta presión.

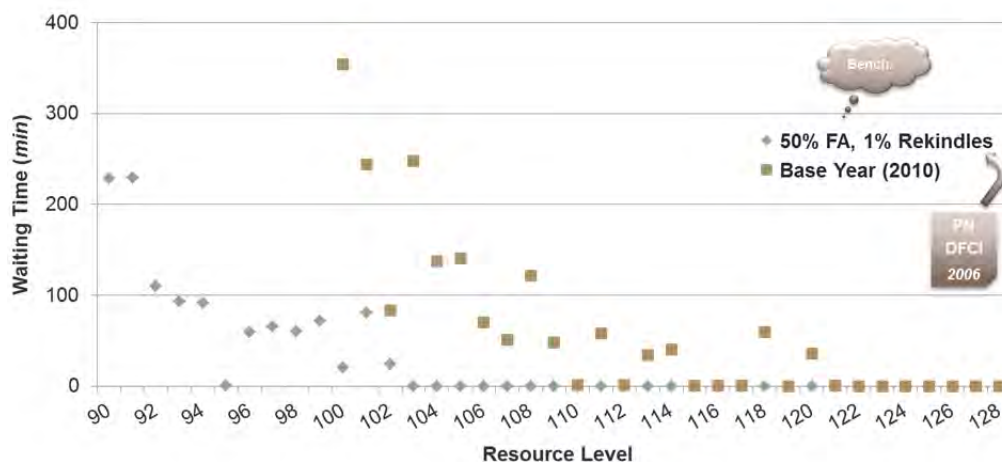


Figura 9—Tiempo promedio de espera para los diferentes niveles de recursos en la base y los escenarios de referencia.

Nuestro estudio de simulación del impacto de reavivamiento y falsas alarmas en los sistemas de extinción revela que su reducción a los valores objetivo/punto de

referencia liberaría el 14.9% de los recursos, que estarían disponibles para la eficacia de operaciones de limpiamiento. Estos resultados son más significativos en la medida en que el año 2010, dentro de la primera década de este siglo, fue un año promedio en términos de número de ocurrencias y el área quemada (AFN 2011).

Reconocimientos

Este trabajo fue financiado por el ERDF – Fondo para el Desarrollo Regional Europeo a través del Programa COMPETE (programa operacional para la competitividad) y por los Fondos Nacionales a través del FCT – (Fundação Portuguesa para la Ciencia y la Tecnología) dentro del proyecto FIRE – ENGINE – Diseño Flexible de Sistemas de Manejo de Incendios Forestales / MIT/FSE/0064/2009, y grupo Portucel Soporcel.

Los autores están profundamente agradecidos al Ing. Rui Almeida (AFN), Coronel Teixeira Leite y Dr. Alberto Costa (CDOS Porto), Ing. Manuel Rainha (AFN), Profesor Paulo Fernandes (UTAD) y M.Sc. Ross Collins (MIT), por su invaluable contribución y retroalimentación para esta investigación. También les gustaría agradecer al Teniente-Coronel António Paixão (GIPS), Ing. Paulo Bessa (GTF Penafiel), João Bandeirinha (Afocelca), Comandante José Morais (BV Paredes), Ing. Tânia Rodrigues Pereira (AFN), Isidro Alves da Costa (Portucel) y Comandante Eliseio Oliveira (CDOS Lisboa), por su entusiasmo y consejo.

Referencias

- AFN. 2011. Relatório anual de áreas ardidas e ocorrências em 2010. Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5xrU23Pfn>; Direcção de Unidade de Defesa da Floresta, Autoridade Florestal Nacional.
- AFN, IESE. 2011. Monitorização e Avaliação do Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios, 2009/2010 - Relatório Final Preliminar. Autoridade Florestal Nacional.
- Ahrens, M. 2003. *The US fire problem overview report: leading causes and other patterns and trends*: National Fire Protection Association.
- Ahrens, M. 2010. Brush, Grass, and Forest Fires. National Fire Protection Association, Fire Analysis and Research Division.
- Alexander, M. E. 2001. "Fire behaviour as a factor in forest and rural fire suppression." *Forest Research in association with New Zealand Fire Service Commission and National Rural Fire Authority, Forest Research Bulletin* no. 197.
- ANIF. 2005. Relatório Final (Vol I). Autoridade Nacional para os Incêndios Florestais.
- Beighley, M.; Hyde, A. C. 2009. Systemic Risk and Portugal's Forest Fire Defense Strategy. Paper read at Portucel Conf.
- Bookbinder, J. H.; Martell, D. L. 1979. "Time-Dependent Queueing Approach to Helicopter Allocation for Forest fire Initial-Attack." *INFOR: Information Systems and Operational Research*.
- CM. 2006. Resolução do Conselho de Ministros n.º 65/2006, PNDFCI. Diário da Republica, I SÉRIE-B, nº102 (26 de Maio de 2006).
- Corcoran, J.; Higgs, G.; Brunsdon, C.; Ware, A.; Norman, P. 2007. "The use of spatial analytical techniques to explore patterns of fire incidence: A South Wales case

- study." *Computers, Environment and Urban Systems* no. 31 (6):623-647. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2007.01.002.
- Corcoran, J.; Higgs, G.; Higginson, A.** 2011. "Fire incidence in metropolitan areas: A comparative study of Brisbane (Australia) and Cardiff (United Kingdom)." *Applied Geography* no. 31 (1):65-75. doi: 10.1016/j.apgeog.2010.02.003.
- Cunningham, A.A.; Martell, D.L.** 1973. "A stochastic model for the occurrence of man-caused forest fires." *Canadian Journal of Forest Research* no. 3 (2):282-287.
- Donovan, G.H.; Brown, T.C.** 2005. "An Alternative Incentive Structure for Wildfire Management on National Forest Land." *Forest Science* no. 51 (5):387-395.
- Fernandes, P.M.** 2008. "Forest fires in Galicia (Spain): The outcome of unbalanced fire management." *Journal of Forest Economics* no. 14 (3):155-157. doi: 10.1016/j.jfe.2007.11.002.
- Flynn, J. D.** 2009. *Fire Service Performance Measures*.
- González-Cabán, A.** 1984. *Costs of firefighting mopup activities*. Vol. 367: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.
- Henderson, R.C.; Muraro, S.J.** 1968. Effect of organic layer moisture on prescribed burning. In *Information Report BC-X-14*, edited by Forest Research Laboratory Canada Department of Forestry and Rural Development. Victoria, British Columbia.
- Hershfield, V.** 1995. "How the fire service responds." *NFPA Journal* no. 89:46-49.
- ISA.** 2011. *Proposta técnica de Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios* 2005 [cited 2011-03-07 2011]. Available from <http://www.isa.utl.pt/pndfci/> (Archived by WebCite® at <http://www.webcitation.org/5zjuImZzu>).
- Karter, M. J.** 2010. False Alarm Activity in the U.S. 2009.
- Karter, M. J.** 2011. False Alarm Activity in the U.S. 2010.
- Killalea, D.** 1998. *Strategies to reduce false alarms to the Tasmania Fire Service*.
- Lourenço, L.** 2007. "Incêndios florestais de 2003 e 2005. Tão perto no tempo e já tão longe na memória!" *Colectâneas Cindínicas - Riscos Ambientais e Formação de Professores* no. 7:19-91.
- Lourenço, L.; Rainha, M.** 2006. "As mediáticas 'mãos criminosas dos incendiários' e algumas das 'lições dos fogos florestais de 2005 em álbum fotográfico. Contributo para a desmistificação dos incêndios florestais em Portugal." *Territorium* (13):71-82.
- Martell, D.L.** 2007. "Forest Fire Management." In *Handbook Of Operations Research In Natural Resources*, edited by Andres Weintraub, Carlos Romero, Trond Bjørndal, Rafael Epstein and Jaime Miranda, 489-509. Springer US.
- Murdock, J.I.; Borough, M.S.; Wasilla, A.** 1999. *Cross-training Standards for Structural and Forestry Personnel in Urban Interface Wildfires: One Alaskan Solution*: National Fire Academy.
- Narayan, C.; Fernandes, P.M.; van Brusselen, J.; Schuck, A.** 2007. "Potential for CO2 emissions mitigation in Europe through prescribed burning in the context of the Kyoto Protocol." *Forest Ecology and Management* no. 251 (3):164-173. doi: DOI: 10.1016/j.foreco.2007.06.042.
- NWCG.** 2005. *Wildfire Origin & Cause Determination Handbook*, NWCG Handbook 1: National Wildfire Coordinating Group, Fire Investigation Working Team.
- NWCG.** 2011. *Glossary of wildland fire terminology*. National Wildfire Coordinating Group ed. Vol. 2012.
- Oliveira, T.** 2011. Relatório da visita ao Chile. grupo Portucel Soporcel.
- Pacheco, A.P.** 2011. *Simulation Analysis of a Wildland Fire Suppression System*, DEIG, Faculty of Engineering, University of Porto.
- Pacheco, A.P.; Claro, J.; Oliveira, T.** 2012. Rekindle dynamics: validating the pressure on wildland fire suppression resources and implications for fire management in Portugal. Paper read at Forest Fires 2012.
- Pereira, M.G.; Malamud, B.D.; Trigo, R.M.; Alves, P.I.** 2011. "The history and characteristics of the 1980–2005 Portuguese rural fire database." *Natural Hazards and Earth System Sciences* no. 11 (12):3343-3358. doi: 10.5194/nhess-11-3343-2011.

- Podur, J.J.; Martell, D.L.** 2007. "A simulation model of the growth and suppression of large forest fires in Ontario." *International Journal of Wildland Fire* no. 16 (3):285-294. doi: 10.1071/WF06107.
- Tilley, G.** 1997. *Managing false alarms*. Borehamwood, ROYAUME-UNI: Fire Protection Association.
- Tu, Y.F.** 2002. *Assessment of the Current False Alarm Situation from Fire Detection Systems in New Zealand and the Development of an Expert System for Their Identifications*, School of Engineering, University of Canterbury.
- Yang, L.; Gell, M.; Dawson, C.; Brown, M.** 2003. "Clustering Hoax Fire Calls Using Evolutionary Computation Technology." In *Developments in Applied Artificial Intelligence*, edited by Paul Chung, Chris Hinde and Moonis Ali, 644-652. Springer Berlin / Heidelberg.

La Predicción de la Productividad en las Operaciones de Extinción de Incendios Forestales: Una Aproximación Metodológica Desde el Análisis de la Dificultad de Extinción y el Registro de la Experiencia¹

Francisco Rodríguez y Silva² y Armando González-Cabán³

Resumen

La actual situación de la problemática de incendios forestales en el mundo y con mayor énfasis en los ecosistemas forestales mediterráneos, está generando un importante estado de pensamiento, en lo referente a las necesidades presupuestarias para acometer los programas de defensa en relación con el estado del paisaje forestal actual y futuro, motivado por el abandono de tierras, la alta carga energética que generan y acumulan las coberturas vegetales, el cambio climático y los escenarios de interfaz. Enfocando el análisis en términos económicos, se puede afirmar que los costes de extinción representan una parte considerable del presupuesto total disponible en los programas de defensa contra incendios forestales. La necesidad racional de hacer un uso eficiente de los presupuestos disponibles, obliga a dirigir las inversiones en la línea de los menores costes con los máximos beneficios. De acuerdo con ello la incorporación de herramientas de naturaleza econométrica, permiten implementar modelos y algoritmos que ayudan a establecer criterios de optimización en la asignación de los presupuestos.

En los planteamientos indicados anteriormente, cobra gran importancia la capitalización de la experiencia⁴, ya que del análisis de cómo se gestionaron las operaciones de extinción, los recursos despachados y los costes generados, se puede llegar a modelar el proceso. Las posibilidades actuales de apoyar los estudios de análisis económico sobre la realidad de la

¹ Una versión abreviada de este manuscrito fue presentado en el IV Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación, y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático Incendios Forestales, 5-11 noviembre 2012, Ciudad de México, México.

² Profesor y Director del Laboratorio de Defensa contra Incendios Forestales. Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes. Universidad de Córdoba, Edificio Leonardo da Vinci. Campus de Rabanales. 14071 Córdoba España. Correo electrónico: ir1rosif@gmail.com.

³ Economista Investigador, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 4955 Canyon Crest Drive, Riverside, CA 92507 USA; Email: agonzalezcaban@fs.fed.us

⁴ Una colección grabada y organizada de diferentes planes de ataque y la organización que se utilizó en ellos disponibles para los directores de la emergencia antes de un incidente como referencia o *lecciones aprendidas*.

peligrosidad potencial de los ecosistemas forestales y la dificultad que representan las operaciones de extinción en base a expectativas del comportamiento del fuego, representa un importante avance en el diseño de las herramientas de gestión. Con la incorporación de modernas herramientas econométricas basadas conceptos de eficiencia y productividad, así como en la construcciones de funciones de utilidad, se pueden realizar estudios que permiten obtener orientaciones de cara a la definición de las necesidades presupuestarias para garantizar una protección de los ecosistemas compatible con el valor de los recursos a proteger, los costes y dificultades de extinción. En el presente trabajo se incluye una aproximación metodológica que permite realizar predicciones de la productividad de las operaciones de extinción, en función de la dificultad y costes de extinción, así como de los registros documentados de directamente obtenidos de los planes de operaciones de extinción de incendios registrados.

Palabras clave: economía del fuego, econometría, manejo del fuego, planificación de programas de incendios, planes operativos, presupuestos de incendios

La obtención del conocimiento y la experiencia de las operaciones de extinción

El capitalizar los datos y resultados de los planes de ataque documentados elaborados, permite intercambios de información entre los responsables de los programas de defensa contra incendios forestales, ello facilita validación de los acontecimientos vividos y ayuda a mejorar las decisiones operacionales y el comportamiento humano ante los trabajos de extinción. La capitalización convierte la experiencia individual en colectiva, puntual en compartida y olvidada en reutilizada; de esta forma, vuelve la experiencia a ser disponible, localizable y accesible, (figura, 1) (Rodríguez y Silva y otros 2007).

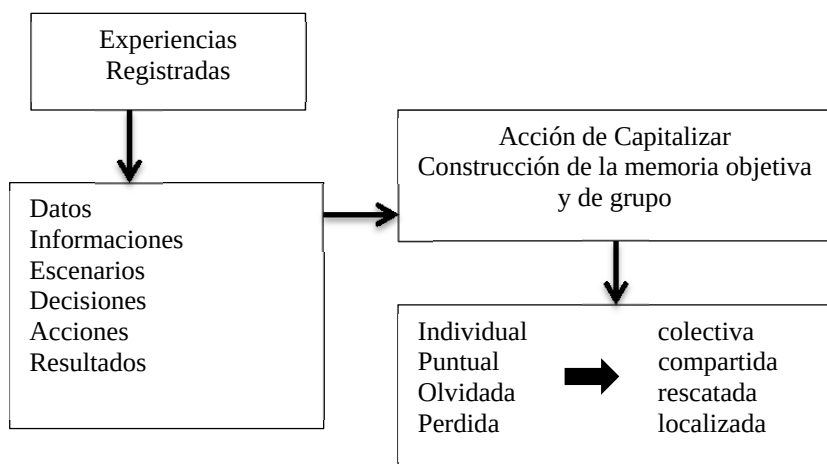


Figura 1—Procedimiento de la capitalización de la experiencia

La experiencia capitalizada y estructurada de los planes de ataque producidos, constituye la memoria objetiva y de grupo, cuyo interés fundamental es compartir los datos extraídos de la experiencia y obtenida a través de los acontecimientos (Rodríguez y Silva y otros. 2007, MacGregor y González-Cabán 2008). Mediante el acto de compartir los eventos y conocimientos percibidos a partir de las situaciones reales vividas se facilitan los intercambios de experiencia de los comportamientos seguidos en el desarrollo de los planes de ataque, siendo el beneficio de todo ello, el acceso al conocimiento entre los diversos responsables y combatientes con independencia de que hayan sido o no testigos presenciales

Para realizar la función de capitalización, los responsables que intervinieron para organizar y dirigir los trabajos de extinción, actúan desarrollando un papel fundamental ya que ellos son los actores y testigos principales de esta función. En este sentido, estos responsables ocupan las mejores posiciones para relatar las actuaciones y reseñar su experiencia, tanto acertada como desacertada en el proceso operacional del combate.

Los responsables y combatientes implicados son ante todo, autores durante la función de capitalización, pero también pueden ser aprendices durante los intercambios de información procedente de otros eventos que desconocidos para ellos, incorporan un nuevo conjunto de informaciones descriptoras de las acciones incluidas en los planes de ataque (Rodríguez y Silva y otros 2007).

En la gestión de los trabajos de extinción la ayuda propuesta se dirige al personal responsable del mando en la dirección técnica ejercida en las diferentes escalas de mando. Estas personas tratan de obtener, por análisis directo y con el apoyo de diversos medios tecnológicos, todas las informaciones posibles sobre la situación actual para analizarla, evaluarla y posteriormente adoptar las decisiones adecuadas en relación con la elaboración del plan de ataque y con ello la distribución más eficiente y segura de los medios de extinción disponibles.

Obviamente en el proceso de diagnóstico del escenario de trabajo, la presencia de la capitalización de la experiencia en términos de la organización de las operaciones de extinción, pasa por el reconocimiento de la similitud de escenarios y condiciones de planes de ataque ya anteriormente aplicados, de esta forma se rescata la información ya conocida al haber sido transformada a la “memoria objetiva y de grupo” y a partir del reconocimiento, se reutiliza la información aprendida que permite decidir cuales tienen que ser la organización y las pautas de comportamiento de los recursos implicados en el incendio actual.

La creación de una base de datos actualizable de planes de ataque con la identificación de las pautas de comportamiento (factores humanos), condiciones ambientales (escenarios de los hechos) y estrategias de combate adoptadas, proporciona la estructura de la *memoria objetiva y de grupo* que da el acceso a las

experiencias pasadas, facilitando compartir el conocimiento al nivel de la capitalización o al nivel del rescate y posterior utilización de la información ya reconocida y aprendida, haciendo posible el establecimiento de una *red de transmisión de la experiencia* entre los diferentes responsables de la organización de control y extinción de los incendios forestales.

La definición de la experiencia pasa antes de todo, por la investigación de los hechos acaecidos, el análisis y la comprensión de los mismos, ello permite extender posteriormente lo aprendido y reconocido hacia la capitalización, o dicho de otra forma hacia la *memoria objetiva y de grupo* (Rodríguez y Silva y otros 2007).

A partir de la generación de la base de datos obtenida a través de la capitalización, se ha de realizar la selección de las variables y parámetros que permitirán estudiar, analizar y evaluar la productividad y eficiencia de las operaciones de extinción. Fundamentalmente deberán ser considerados los siguientes:

- Tasa de producción de línea de fuego extinguida (m/min)
- Factor de contracción superficial ACF, (se entiende como la diferencia entre la unidad y el cociente entre la superficie real afectada por la propagación del incendio y la superficie obtenida en evolución libre, es decir sin operaciones de extinción, sujeta al tiempo transcurrido desde la detección hasta que el incendio es controlado) (Rodríguez y Silva y otros 2007), (Rodríguez y Silva y González-Cabán 2010).
- Superficie afectada promedio por incendio forestal registrado (ha/incendio)
- Costes de extinción promedio por superficie afectada, (\$/ha, €/ha)
- Cociente entre coste de extinción y cambio neto en el valor de los recursos

La elección de los recursos de extinción y la función de utilidad asociada

El problema de la elección de la cantidad y tipología de los recursos de extinción para su incorporación a un modelo organizativo del combate de incendios forestales, así como el tratamiento individualizado según operaciones de extinción, puede ser analizado desde la teoría de la utilidad (Fishburn 1970, Mongin 1997). Ésta nos proporciona vía maximización el beneficio derivado del consumo de determinados bienes previamente seleccionados. La aplicación concreta a la realidad operacional de la extinción obliga a considerar la ley de utilidad marginal decreciente. El fundamento principal de esta ley es que la primera unidad despachada (en términos de satisfacción personal, la primera unidad consumida) provee el mayor nivel de utilidad para la organización de combate (mayor nivel de utilidad para el consumidor). Cada unidad adicional de combate despachada provee un nivel de utilidad menor a los esfuerzos del combate (o la satisfacción del consumidor); hasta el punto en que una unidad adicional de combate despachada no contribuye casi nada

o nada a los esfuerzos de combate (o utilidad) de la organización; o sea, la utilidad marginal de esa unidad es bien pequeña o cero. A este nivel de recursos, la utilidad total de la organización de combate no aumenta apreciablemente (y puede hasta reducirse); sin embargo, los costes operacionales continúan aumentando.

Ante esta situación la organización definida para el combate (modelo o plan de lucha establecido) y dadas las variedades y combinaciones de despacho de recursos, el plan debe jerarquizarlas en función de la utilidad que cada una de ellas le genera, mediante un mecanismo de ordenación de las preferencias. El sistema de ordenación de las preferencias del consumidor que verifica las condiciones anteriores es el constituido por *las curvas de indiferencia* (Muñoz 2006).

Una curva de indiferencias manifiesta el mismo grado de utilidad de todas las combinaciones de recursos que pertenecen a ella misma (ver figura 2). Es decir, el Director de Extinción es indiferente entre que haya 10 cuadrillas de 20 personas y 5 coche motobombas de 1,000 galones de agua o solo 3 coches motobombas de 1,000 galones y 12 cuadrillas de 20 personas por que ambas combinaciones producen el mismo nivel de utilidad (el mismo nivel de protección). Dada esta definición, una *curva de indiferencia* a la derecha de, y más arriba que una anterior representa un mayor nivel de utilidad. La pendiente de la *curva de indiferencia*, representa la relación marginal de sustitución (RMS) entre los recursos (X y Y)⁵ (Ecuación 1). O sea, cuántas unidades de un recurso un consumidor (plan de ataque/supresión) necesita para obtener el mismo nivel de utilidad (capacidad de extinción) de otro tipo de recurso o combinación de recursos.

$$MRS = \Delta Y / \Delta X \quad (1)$$

Si el conjunto de recursos de extinción de incendios forestales o combinaciones posibles de ellos (X_i , Y_j) se integran en la función de utilidad (U) (Ecuación 2), entonces,

$$U = f(X_i), \text{ y la } RMS = \left[\partial Y_j / \partial X_i \right] U \quad (2)$$

Admitiendo la constancia de la función de utilidad, se puede obtener las variaciones de la utilidad del sistema de extinción cuando se modifican las cantidades consumidas de cada uno de los bienes (cantidades despachadas de un recurso de

⁵ Sabemos que todos los números usados en este trabajo sufren del problema de errores de estimación. Sin embargo, para facilidad de estimación y presentación hemos decidido ignorar los errores de muestreo y estimación ahora. Sin embargo, en aplicaciones futuras de esta metodología debe proveer información de los errores asociados con los parámetros estimados para indicar su precisión.

extinción), es decir la utilidad marginal de cada uno de los recursos de extinción, o dicho de otra forma el incremento porcentual que se produce en el nivel de satisfacción (eficacia en la extinción en términos de la disminución de superficie afectada por incendio intervenido) al incrementarse en una unidad la cantidad del recurso sobre el que se analiza la utilidad marginal (Ecuación 3).

$$\partial U = \sum \left(\partial U / \partial X_i \right) \partial X_i = 0 \quad (3)$$

La solución al problema de la elección entre los recursos disponibles o combinación de ellos, hay que contar con la información necesaria y ésta ha de estar compuesta por: los recursos de extinción entre los que realizar la elección, la restricción presupuestaria (máximo presupuesto disponible para cubrir los costes operacionales) y el mapa de *curvas de indiferencia* (Fig. 2). La restricción presupuestaria que es tangente en el punto (A) a la curva de indiferencia representa la RMS del recurso X_j por el recurso X_i , siendo ésta exactamente el cociente entre los precios relativos de $X_i (P_i)$ y $X_j (P_j)$, (Fig. 2). Lo que se puede expresar de la siguiente forma:

$$RMSX_i / P_i = RMSX_j / P_j \quad (4)$$

Desde el punto de vista de la productividad y la búsqueda de la eficiencia, surge la necesidad de realizar una importante modificación conceptual en relación con las *curvas de indiferencia*. La RMS del recurso X_j por el recurso X_i , no puede ser considerada exclusivamente como una relación de cociente entre los precios relativos de ambos recursos, pues en términos de extinción, hay que considerar la “*capacidad de extinción de cada uno de los recursos*”, así como las limitaciones operacionales inherentes a cada recurso. De acuerdo con ello es necesario, construir un nuevo formato de variable que identifica cada recurso, incluyendo en el mismo las consideraciones anteriores. La expresión que determina la definición de cada recurso es la siguiente (Ecuación 5):

$$Y^e = \alpha P + \varphi R + \mu L, \quad (5)$$

donde, α , φ , μ representan coeficientes de ponderación de cada una de los parámetros, P representa el precio del recurso por unidad de tiempo \$/h, €/h, R representa la capacidad de extinción, expresada en términos del correspondiente ratio de producción m/min, y L representa las limitaciones operacionales.

De esta forma si el sistema tiene un presupuesto asignado y ha de elegir entre dos recursos o combinaciones de recursos, distribuirá dicho presupuesto entre ellos

de forma que las utilidades marginales de los bienes sean proporcionales a sus precios respectivos, de esta forma en condiciones de equilibrio, el sistema (el consumidor en términos económicos), obtiene la misma utilidad marginal por unidad monetaria gastada en el recurso (o combinación de ellos) X_i que en el recurso X_j .

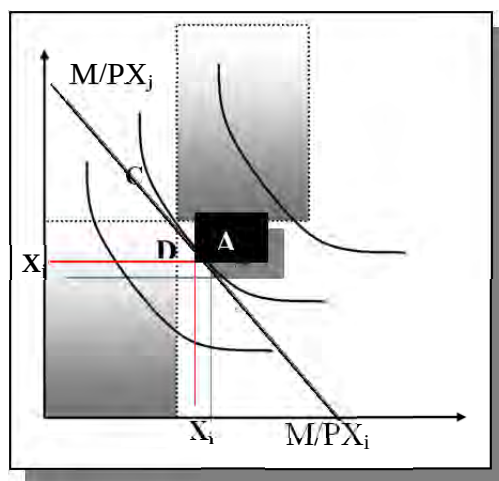


Figura 2—Representación gráfica de las isocuantas de utilidad marginal para dos productos.

La solución algebraica al problema de la elección se puede determinar mediante el uso de Multiplicadores de Lagrange, para ello a partir de la función de utilidad (por ejemplo mínima superficie afectada), el presupuesto disponible (M), las cantidades de cada uno de los recursos (X_i) y sus correspondientes precios (P_{xi}) se procede algebraicamente mediante la composición de la función de Lagrange, (t_i , representa el tiempo de utilización del recurso (i), (Rodríguez y Silva y otros 2007).

$$M > \sum P_{X_i} X_i t_i (Y^e) \quad (6)$$

$$V = u(X_{1,2,3,...n}) + \lambda (M - \sum P_{X_i} X_i t_i (Y^e)_i) \quad (7)$$

$$\partial V / \partial X_i = \partial U / \partial X_i - P_{X_i} = 0 \quad (8)$$

$$\partial V / \partial \lambda = M - \sum P_{X_i} X_i = 0 \quad (9)$$

El multiplicador de Lagrange indica como varía la utilidad cuando se incrementa el gasto monetario en X_i , mide por tanto la utilidad marginal del presupuesto de extinción disponible.

El índice de gestión, una herramienta para la evaluación de la eficiencia

La medida de la gestión siempre se presenta como una necesidad cuando hay que responder a preguntas relacionadas con las inversiones realizadas y los resultados obtenidos. En las aplicaciones de herramientas econométricas a la evaluación de las inversiones en la defensa contra incendios forestales, siempre surgen dificultades debido a la falta de variables que definan de forma integrada los costes de extinción y la eficacia en las operaciones de extinción. Con el fin de ir despejando las situaciones de incertidumbre derivada de la falta de variables, fue definida una variable compilatoria que permite englobar información de costes y de eficacia en la extinción, dicha variable se denomina: *índice de gestión* IG (Carmona y Rodríguez y Silva 2009). Se determina como resultado del cociente entre el Factor de Contracción Superficial ACF y el coste por hectárea (Ecuación 10).

$$IG = ACF / C_{tot} / A_q - 100[(1 - A_q / A_v)A_q] / C_{tot} \quad (10)$$

donde IG representa el índice de gestión, ACF representa el factor de contracción superficial, C_{tot} representa el coste total de extinción, A_q representa la superficie afectada, y A_v representa la superficie que se alcanza en simulación libre, sin acciones de combate, para el tiempo comprendido entre la detección y el control

El análisis diferencial del modelo, en relación con el comportamiento de cada una de las tres variables (A_q , A_v , C_{tot}), permite obtener la expresión que determina la condición de máximo para el comportamiento del *índice de gestión* (Ecuación 11)

$$\begin{aligned} dMI &= \frac{\partial MI}{\partial A_q} + \frac{\partial MI}{\partial A_v} + \frac{\partial MI}{\partial C_{TOT}} \\ &= -\frac{100A_q}{C_{TOT}^2} + \frac{100A_q^2}{A_v \cdot C_{TOT}^2} + \frac{100}{C_{TOT}} + \frac{100A_q^2}{A_v^2 \cdot C_{TOT}} - \frac{200A_q}{A_v \cdot C_{TOT}} \\ d^2MI &= \frac{-200}{A_v \cdot C_{TOT}} - \frac{200A_q^2}{A_v^3 \cdot C_{TOT}} + \frac{200A_q}{C_{TOT}^3} - \frac{200A_q^2}{A_v \cdot C_{TOT}^3} + \frac{400A_q}{A_v^2 \cdot C_{TOT}} \\ &\quad - \frac{200A_q^2}{A_v^2 \cdot C_{TOT}^2} - \frac{200}{C_{TOT}^2} + \frac{400A_q}{A_v \cdot C_{TOT}^2} \end{aligned} \quad (11)$$

Resolviendo para que la primera derivada sea cero, los valores que hagan negativa a la segunda derivada de la función determinante del IG, proporcionará condiciones suficientes para que el IG alcance su nivel máximo para esas condiciones; pero no necesariamente un valor máximo global.

Mediante este procedimiento se puede estudiar tanto de forma individual cada incendio, como también se puede abordar el análisis de una determinada comarca o provincia, bajo un determinado período temporal. Indiscutiblemente la comparación entre períodos, permite realizar el seguimiento del comportamiento del IG. Con este sistema de ecuaciones el análisis de eficiencia permite determinar el punto en que IG es más eficiente. Como se puede ver en la figura 3, una vez obtenida la representación gráfica conjunta de las regresiones entre el IG frente a Ca y ACF muestra un punto de corte correspondiente por debajo del cual Ca supera la eficiencia de los medios representada mediante el ACF. Cuanto más a la derecha del punto de *Gestión Mínima Eficiente* (Pme, zona B), mayor es la eficiencia y por lo tanto más positiva la evaluación de la gestión de los incendios. Por lo contrario, los valores del IG ubicados a la izquierda del Pme (zona A) corresponden a incendios con gestión deficiente, en los que el ACF está por debajo del Ca.

La formulación de los algoritmos que permiten obtener mediante el cálculo correspondiente la determinación del punto de gestión mínima eficiente, adoptan la siguiente estructura matemática general (Ecuaciones 12 y 13):

$$Ca = a.e^{b.MI} \quad (12)$$

$$ACF = e.MI^d \quad (13)$$

Los valores correspondientes a los coeficientes (a) y (c), así como los correspondientes a las potencias (b) y (d), se obtienen a partir de los registros históricos de ocurrencia de los incendios para un período de tiempo y comarca o región en la que se realiza el análisis.

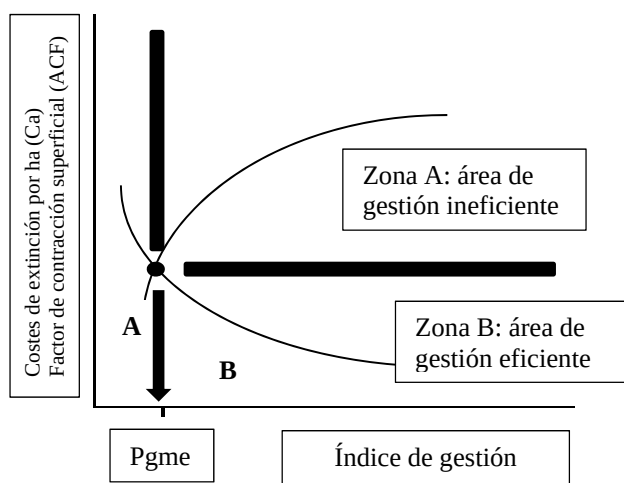


Figura 3—Representación gráfica del Programa de manejo más Eficiente. La zona A representa un área de gestión ineficiente, mientras que la zona B representa una zona de gestión eficiente.

El campo de utilidades del índice de gestión es muy amplio dentro del marco analítico que integra resultado de las operaciones de extinción y costes asociados. El seguimiento periódico del IG ayuda a detectar las deficiencias operacionales en las diferentes comarcas donde se llega aplicar el análisis. No hay que olvidar que internamente el ACF, aporta información en relación a la eficacia de las operaciones de extinción al incluir un ratio de comparación entre la superficie afectada y la superficie que podría haber alcanzado el incendio, si no se hubieran realizado las acciones de supresión, estableciéndose este comparativo para el período de tiempo comprendido entre el inicio del incendio y el momento que el incendio se da por controlado. La aplicación del modelo a diferentes provincias, proporciona información numérica de los coeficientes y potencias de las expresiones matemáticas, como ejemplo se indican a continuación las expresiones obtenidas para la provincia de Cádiz (España), en un estudio realizado para el período temporal comprendido entre los años 2001 y 2011.

Basado en el IG para el área, estimados para Ca y AFC se pueden ver en las ecuaciones 13 y 14.

$$CA = 3754,25e^{-13,991MI} \quad (14)$$

$$ACF = 297,16MI^{0,508} \quad (15)$$

Estimación de la eficiencia de las operaciones de extinción con métodos no paramétricos; Análisis por envolvente de datos

La determinación de la eficiencia en los sistemas productivos, puede entenderse como una técnica econométrica, a través de la cual se aborda la relación existente entre los recursos empleados o asignados y el producto obtenido, o el objetivo previamente establecido como meta a ser alcanzado. De forma simplificada se puede entender como la relación entre ingreso y gasto o entrada y salida generada en un determinado sistema productivo. En relación con las operaciones de extinción, y en términos conceptuales se puede asociar a la determinación de un ratio que permita obtener información entre los resultados alcanzados por la utilización de un determinado conjunto de medios de extinción y los costes generados por los mismos en un evento o incendio concreto.

El estudio y determinación de la eficiencia puede ser abordado, bien a través de métodos paramétricos por determinación estocástica de la frontera de producción

posible⁶, constituyendo en sí un procedimiento de carácter determinístico, o bien a través de métodos no paramétricos, mediante técnicas de programación lineal (Parra y otros 2009).

De forma simplificada, se puede plantear el caso de dos tipos de recursos de extinción cuyos costes o precios derivados de su uso son (X_1) y (X_2), respectivamente. Por otra parte se puede definir (Y), como el producto final obtenido por la utilidad marginal de cada uno de ellos. O bien expresándolo de otra forma, el producto final obtenido tras el control del incendio (superficie controlada por unidad de tiempo, ACF alcanzado, etc.). Representando gráficamente el análisis de la eficiencia se pueden definir dos importantes conceptos que permiten obtener componentes explicativos de la eficiencia, tales como la *eficiencia técnica* (ET) (máxima cantidad de producción dado un nivel fijo de insumos) y la *eficiencia asignativa* (EA) (reducción en los costes de producción si en la unidad producida los insumos de producción se usaron lo más eficientemente posible) (figura 4, adaptada de Farrel 1957).

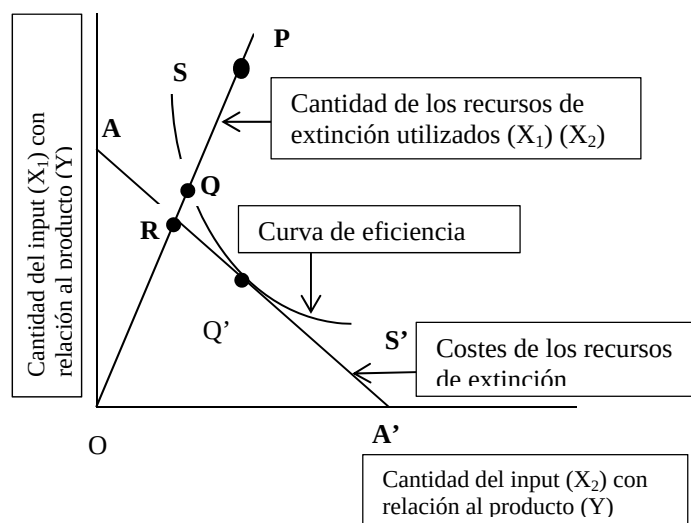


Figura 4—Representación gráfica del análisis de eficiencia relacionando la cantidad de los insumos con sus precios y la cantidad de los mismos usados en la extinción.

La curva SS' , representa la curva isocuántica de producción con la combinación de los dos tipos de medios de extinción (X_1) y (X_2). La distancia representada por el segmento (QP), determina la *ineficiencia técnica* (IET) y la reducción de cantidades de los tipos de medios de extinción (X_1) y (X_2), sin llegar a producir modificaciones en el producto (objetivo o variable final de extinción inicialmente acordado). De la

⁶ Se refiere a la máxima producción posible de un producto dado una cantidad fija de recursos. Véase capítulo 2 en Kumhakar y Lowell (200).

gráfica se desprende que las cantidades empleadas se encuentran por encima de la curva isocuántica de producción eficiente (SS'). El valor de IET se determina a través del cociente entre las distancias definidas por los segmentos (QP) y (OP) (Ecuación 16).

$$IET = QP/OP < 1, \text{ en por ciento: } IET\% = QP/OP(100) \quad (16)$$

En función de la expresión anterior se determina la *eficiencia técnica* (ET) como la unidad menos el valor de la *ineficiencia técnica* (Ecuación 17).

$$ET = 1 - IET = OP - QP/OP = OQ/OP \quad (17)$$

A partir del conocimiento de la variación de precios entre medios de extinción que responden a una misma clasificación o tipo (por ejemplo helicópteros de transporte y extinción), se puede determinar la EA (la reducción de costes de producción, si la unidad producida fuera eficiente en la asignación de recursos de extinción). EA viene representada por la dimensión del segmento (RQ) y determina la reducción de costes al cambiar el punto de eficiencia (Q) a la posición (Q') (Fig. 4). Finalmente la *eficiencia económica* (EEI) se puede obtener por el producto de la ET y la EA (Ecuación 18):

$$EEI = (OQ/OP)(OR/OQ) = OR/OP \quad (18)$$

La curva isocuántica de eficiencia ha de ser estimada mediante datos muestrales tomados de la base de datos estadísticos de ocurrencia de incendios en la región o comarca forestal en la que se realiza el análisis de eficiencia.

A partir de la identificación conceptual de la eficiencia y sus componentes econométricos, se puede acometer la aplicación al análisis y estudio de los resultados de operaciones de control y extinción de incendios forestales. La determinación de la eficiencia por análisis envolvente de datos (métodos no paramétricos), requiere previamente la definición del siguiente modelo econométrico aplicado a las operaciones de extinción de incendios forestales (Ecuación 19).

Se considera como *insumos*, el valor económico de la superficie que se ha conseguido proteger en función de las acciones de extinción definidas por la planificación de las operaciones de extinción.

$$I = Vr - Vr(Fd) = Vr(1 - Fd), \quad (19)$$

Donde I representa los insumos (valor económico total salvado del impacto del fuego dentro del perímetro del incendio), V_r es el valor económico de cada uno de los recursos presentes en el área o escenario por donde ha evolucionado el incendio forestal (o dicho de otra forma, la superficie limitada por el perímetro final del incendio). Expresado en unidades monetarias (€, \$), y F_d es el factor de depreciación del valor económico por efecto o impacto del fuego (Molina y otros 2009, Rodríguez y Silva y González Cabán 2010, Rodríguez y Silva y otros 2011, 2012).

Para la totalidad de los recursos existentes el input total, se puede expresar mediante la ecuación 20.

$$\sum V_r - \sum V_r(F_d) - \sum V_r(1 - F_d i) \quad (20)$$

Por otra parte los *productos* o costes de extinción, vendrán representados por la sumatoria de los costes individuales de todos los medios o recursos de extinción que fueron despachados al incendio. En términos del análisis de la eficiencia, se consideran como *productos*, al representar éstos, las soluciones adoptadas por combinación de medios de extinción como resultados o producción asignada al valor económico de los recursos salvado del impacto del fuego, adoptando éste el concepto de output del sistema operacional de extinción. De acuerdo con ello, la expresión de la eficiencia se puede escribir de la siguiente forma, donde ET es el estimador de eficiencia y todas la demás variables según definidas antes.

$$ET = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{j=m} C_{ej}}{\sum_{i=1}^{i=n} V_{ri}x(1 - F_d i)} \quad (21)$$

De acuerdo con la ecuación 21 ET puede ser analizado en función de un estimador basado en los valores que se obtiene del cociente entre los ingresos (*productos*) y los gastos (*insumos*), así se puede considerar que:

Si $0 < ET < 1$, entonces la eficiencia se sitúa de baja a muy alta

SI $ET = 1$, entonces la eficiencia se encuentra en equilibrio

Para establecer una coherencia dimensional, es necesario realizar ajustes en la ecuación 21 de ET , para ello se introducen pesos que normalizan la heterogeneidad entre las variables que constituyen la expresión matemática. Así, para el caso de los *productos* (diferentes recursos o medios de extinción que han intervenido), los pesos seleccionados (β_j), se identifican con la ponderación de tiempos de intervención de cada recurso en relación con el tiempo total transcurrido desde el inicio de las acciones de extinción, hasta que se consigue el control del incendio. Con relación a la

variable, “valor económico de cada recurso natural”, la ponderación se consigue introduciendo el parámetro (α_i), que relaciona el valor económico de cada recurso con relación al valor económico total obtenido como suma de los valores económicos de cada uno de los recursos naturales presentes en la superficie afectada por el incendio. Aplicando los criterios de ponderación a ET, se obtiene como resultado final la siguiente expresión:

$$ET = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{j=m} \beta_j (Cej)}{\sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i Vrix(1 - Fdi)} \quad (22)$$

Como simplificación, sugerimos una clasificación cualitativa de los resultados para establecer una clasificación de la eficiencia por intervalo (Tabla 1), asociando la ET con 4 niveles categóricos: Baja, Moderada, Alta, Muy Alta.

Tabla 1—clasificación cualitativa para establecer una graduación de la eficiencia.

Intervalo del valor de la eficiencia (ET)	Clasificación cualitativa
$0 < ET < 0.26$	BAJA
$0.26 \leq ET < 0.6$	MODERADA
$0.6 \leq ET < 0.7$	ALTA
$0.7 \leq ET < 1$	MUY ALTA

A modo de ejemplo de aplicación, se presenta a continuación el estudio de eficiencia realizado sobre el incendio de Almonaster, registrado en la provincia de Huelva (España) en el año 2008.

La determinación de la valoración económica de los recursos naturales y su depreciación económica por efecto del incendio, permite obtener el valor económico residual de los recursos naturales y por consiguiente el volumen de output equivalente que conforma el numerador de la fracción que proporciona el valor de la eficiencia económica EEI, (Tabla 2).

Recurso\Valor Económico (€)	Valor De Existencia V_{ri} (euro)	Valor De Pérdidas $V_{ri} \times F_{di}$ (euro)	Valor Salvado $(1 - F_{di})$ (euro)	Ponderación (α_i)
MADERA	246.658,20	145.321,64	101.336,56	0,448506327
LEÑA	65.426,34	31.734,26	33.692,08	0,149118058
FRUTOS	38.195,25	12.726,71	25.468,54	0,112721424
BIODIVERSIDAD	75.436,24	45.386,75	30.049,49	0,132996289
RECREACIÓN	35.124,62	25.761,24	9.363,38	0,041441462
CAZA	87.356,42	61.324,15	26.032,27	0,115216441
TOTAL	548.197,07	322.254,75	225.942,32	

Tabla 2—Valoración económica de los recursos naturales y pérdidas por el impacto del fuego.

Con relación a los costes de los medios de extinción se ha elaborado el cuadro descriptivo (Tabla 3) que permite identificar para cada medio de extinción el coste, el tiempo de intervención y su correspondiente peso de ponderación (β_j).

Tabla 3—Costes de los recursos de extinción despachados.

Nº de Unidades	Tipo de recurso de extinción	Coste de extinción C_{ej}	Tiempo de intervención en Minutos	Ponderación (β_j)
2	Avión CL215T	62.940,09 €	826	0,043
3	Helicóptero Bell412	38.430,40 €	1.261	0,066
1	Helicóptero KAMOV K32	25.423,18 €	726	0,038
2	Avión Air Tractor 802	15.247,33 €	1.401	0,074
10	Brigada (15 componentes)	73.990,37 €	8.057	0,420
1	Bulldócer	1.155,56€	946	0,050
8	Camión autobomba	8.781,86 €	5.065	0,290

Aplicando la expresión ponderada de la eficiencia EEI a los valores registrados en el 2008 para el incendio de Almonaster se obtiene el valor de 0.33 según la ecuación 23.

$$ET = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{j=m} \beta_j(C_{ej})}{\sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i V_{ri}(1 - F_{di})} = 1 - 41017/60728 = 0.33 \quad (23)$$

De acuerdo al valor obtenido en el cociente y a lo indicado anteriormente, se desprende que la eficiencia alcanzada con la combinación de los medios de extinción recogidos en la tabla 3, ha permitido conseguir la defensa y protección del 41%⁷ del

⁷ Calculado como el Valor salvado/Valor existencia o 225.942,32/548.197,07.

valor económico de los recursos naturales existentes en la superficie afectada por el incendio, con un ratio de eficiencia económica de 0,33 (Tabla 1), es decir del 33%, correspondiendo una clasificación cualitativa de moderada eficiencia.

El análisis de la eficiencia se puede dirigir más allá del estudio individualizado de incendios forestales. En efecto permite realizar evaluaciones comparadas entre incendios que interese analizar, e incluso determinar la eficiencia de un determinado programa de defensa contra incendios en una comarca forestal. Así supongamos que cada uno de los (N) incendios tiene (K) inputs (medios de extinción) y (M) outputs (ingresos o beneficios alcanzados en protección de los valores económicos de los recursos naturales).

El *i*ésimo incendio está representado por los vectores X_i e Y_i , respectivamente. La matriz (KxN) de *insumos* X y la matriz (MxN) de *productos* Y, representan los datos de los (N) incendios considerados en el análisis. El objetivo de la aplicación del análisis de envolvente de datos, es construir una frontera de tipo no paramétrica, sobre los puntos de referencia, tal que todos los puntos observados queden sobre la frontera de producción o por debajo de la misma.

La eficiencia en cada incendio se obtiene a partir de una medida del cociente de todos los *productos* sobre todos los *insumos* ($U'y_i/V'x_j$), donde (U') es el vector de dimensión Mx1 de los pesos de los *productos* y V' es el vector Kx1 de los pesos de los *insumos*. La selección de los pesos óptimos se obtiene a través de la ecuación 24

$$\text{Max}_{u,v}(U'y_i/V'x_j), \text{ sujeto a } U'y_i/V'x_j \leq 1, U, V \geq 0, \text{ and } j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (24)$$

Ello representa el determinar los valores de U (peso asociado al *producto* genérico *i*ésimo) y de V (peso asociado al *insumo* genérico *i*ésimo), tal que la eficiencia del incendio forestal *i*ésimo de los (N) en estudio es maximizada, sujeto al cumplimiento de que las medidas de la eficiencia debe ser menores o iguales a uno considerando la restricción:

$$Vx_j = 1, \quad \max_{(u,v)}(U'y_j), \text{ sujeto a } U'y_j - V'x_j \leq 0 \quad (25)$$

Aplicando programación lineal, las expresiones anteriores quedan de la siguiente forma:

$$-y_i + Y\lambda \geq 0 \quad (26)$$

$$\Theta x_i - X\lambda \geq 0 \quad (27)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (28)$$

donde λ , será la eficiencia del incendio *i*ésimo. La resolución de la programación lineal tiene que desarrollarse para cada uno de los N registros de incendios objeto del análisis, bien de tipo espacial-geográfico o bien de carácter temporal.

La metodología anteriormente indicada ofrece interesantes opciones de cara al estudio combinado de los costes de extinción y valoración económica residual de los recursos naturales tras sufrir el impacto del incendio forestal. Permitiendo a partir de los resultados, de una parte analizar y clasificar los resultados obtenidos tras la aplicación operacional de las opciones de extinción acordadas y de otra, obtener la información necesaria para la realización de ajustes en la combinación de los recursos de extinción. Sin duda todo ello ofrece herramientas de carácter objetivo para su aplicación en la planificación económica y en la toma de decisión.

Agradecimientos

Le damos gracias por todo su apoyo al personal del proyecto INFOCA (RTA2009-00153CO3-03), financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA). También agradecemos al Dr. Jim Baldwin, de la Estación de Investigación del Pacífico Suroeste del Servicio Forestal de los EEUU por su revisión estadística del sistema de ecuaciones desarrolladas en el trabajo.

Referencias

- Carmona, C., Rodríguez y Silva, F.** 2009. Capitalización de la experiencia en las operaciones de extinción de incendios forestales en la provincia de Málaga. TPFC. Universidad de Córdoba.
- Farrel, M.** 1957. The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society (Series A). 120 Part III, 253-290.
- Fishburn, P.C.** 1970. Utility theory for decision making. NY, NY: John Wiley and Sons, Inc. 234 p.
- Kumbhakar, Subal C.; Lowell, C.A. Knox.** 2000. Stochastic Frontier Analysis. New York, NY: Cambridge University Press. 348 p.
- Mongin, P.** 1997. "Expected utility theory" in: Davis, J., Hands, W., Maki, U., eds., London, UK: Edward Elgar. Pp 342-350
- 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. Libro Forest Fires: Detection, Suppression and Prevention. Nova Science Publishers. USA.
- Muñoz, A.** 2006. **Introducción a la Economía. Microeconomía.** Master de Economía Aplicada. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid.
- Parra Rodríguez, F., Muñoz Cabanes A., Herrero de Egaña, A.** 2009. Análisis de la eficiencia y productividad. Universidad de Educación a Distancia. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Departamento de Economía Aplicada y Estadística. Fundación General UNED. Madrid.

- Rodríguez y Silva, F. Molina JR. Herrera M. Zamora R.** 2007. Vulnerabilidad socioeconómica de los espacios forestales frente al impacto de los incendios, aproximación metodológica mediante sistemas de información geográficos (proyecto Firemap). IV International Wildland Fire Conference. Proceedings. Sevilla. (www.wildfire07.es).
- Rodríguez y Silva F.; Molina J.R.; Herrera M.A.; Zamora R.** 2009. The impact of fire and the socioeconomic vulnerability of forest ecosystems: A methodological approach using remote sensing and geographical information systems. General Technical Report PSW-GTR-227. Pacific Southwest Research Station. Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 151 - 168.
- 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.

Tratamientos de Combustibles Peligrosos, Impactos de los Costos de Supresión, y Mitigación de Riesgo¹

Matthew P. Thompson², Michael S. Hand³, Julie W. Gilbertson-Day⁴, Nicole M. Vaillant⁵, y Darek J. Nalle⁶

Resumen

Las agencias de gestión de las tierras se enfrentan a compensaciones inciertas respecto de las inversiones en la preparación y el manejo de los combustibles frente a los costos de supresión y los impactos futuros para con los recursos y bienes valiosos. La evaluación prospectiva de los tratamientos de los combustibles permite la comparación de las estrategias de tratamiento alternativas en términos de los impactos socioeconómicos y ecológicos, y puede facilitar el análisis de las compensaciones. Esta presentación demostrará metodologías recientemente desarrolladas para estimar los posibles efectos de los tratamientos de combustibles en los costos de supresión. El enfoque agrupa los resultados de simulaciones de incendios forestales con un modelo de regresión de costos, estimando la influencia de los tratamientos de los combustibles sobre las distribuciones de tamaño de incendio forestal y el costo de supresión. Un estudio de caso se centra en un paisaje dentro del Bosque Nacional Deschutes en el centro de Oregón, EE.UU., y los resultados sugieren efectos sustanciales del tratamiento. Un análisis auxiliar demuestra los efectos de los tratamientos de los combustibles en términos de la exposición reducida de los valores en riesgo, para cuantificar los beneficios potenciales más amplios de tratamientos de combustibles. La efectividad de los tratamientos en el caso de estudio supeditada a la aplicación a gran escala de los tratamientos de combustibles a través del paisaje, y al mantenimiento suficiente para garantizar la efectividad del tratamiento durante la duración del período de análisis. Se resaltarán las futuras aplicaciones y la integración con otros enfoques de modelación.

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación, y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, nov 5-11 de 2012, Ciudad de México, México.

² Research Forester, Human Dimensions Program, Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service, Missoula, MT 59807 (mthompson02@fs.fed.us)

³ Research Economist, Human Dimensions Program, Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service, Missoula, MT 59807 (mshand@fs.fed.us)

⁴ Biological Scientist, Human Dimensions Program, Rocky Mountain Research Station, Missoula, USDA Forest Service, MT 59807 (jgilbertsonday@fs.fed.us)

⁵ Fire Ecologist, Western Wildlands Environmental Threat Assessment Center, Pacific Northwest Research Station, USDA Forest Service, Prineville, OR 97754 (nvaillant@fs.fed.us)

⁶ Post-doctoral Research Forester, Fire, Fuel and Smoke Program, Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service, Missoula, MT 59808 (djnalle@fs.fed.us)

Palabras clave: Análisis de la exposición, combustibles peligrosos, costo de supresión, evaluación de riesgo

Introducción

El Servicio Forestal de los EE.UU. (USFS, por sus siglas en inglés) y otras agencias públicas de manejo de tierras gastan cantidades considerables de dinero en el manejo de los incendios forestales cada año, hasta el punto que una temporada intensa de incendios puede poner en peligro la capacidad de las agencias para satisfacer las necesidades no relacionadas a incendios y mantener la salud de los bosques (Thompson y otros 2013a). Sin embargo, los incendios forestales siguen causando daños significativos a los ecosistemas forestales y a las zonas urbanizadas. Mientras que las inversiones en las respuestas de supresión pueden ayudar a proteger los valiosos recursos de los efectos dañinos de los incendios, la supresión es costosa y también pone a los bomberos en situaciones de peligro.

Las inversiones en el manejo de los combustibles son prometedoras para reducir los costos y los daños potenciales de los incendios forestales mediante la reducción del tamaño y la intensidad de incendios futuros (Ager y otros 2010, Moghaddas y otros 2010). Pero los gerentes se enfrentan a compensaciones inciertas sobre los posibles efectos de los tratamientos de los combustibles, incluyendo los costos reducidos de supresiones futuras (y los riesgos para los bomberos que participan en la supresión), los daños a los valores ecológicos, y los daños a las casas y otras estructuras en la interfaz urbano-forestal (IUF). Es decir, las retribuciones de una inversión en los tratamientos de los combustibles no son bien conocidas de antemano, lo que hace que sea difícil de diseñar e implementar un programa eficiente de tratamiento de los combustibles.

En este artículo se ilustra un método para evaluar los efectos potenciales de un proyecto de tratamiento de los combustibles, y se demuestra su uso en un paisaje de un caso de estudio en el Bosque Nacional Deschutes, en los Estados Unidos. Retomamos esfuerzos anteriores para modelar la forma en que los tratamientos de los combustibles afectan el crecimiento, el tamaño y los costos de futuros incendios (Thompson y otros 2013b) mediante la interacción de perímetros de incendios simulados con la distribución geográfica de los recursos y bienes de gran valor (RBGVs) que están expuestos a incendios. Este análisis se puede utilizar para describir la eficacia probable de tratamientos de los combustibles en la reducción de la exposición de los RBGVs a los efectos dañinos de los incendios, y como un medio de comparación entre diferentes opciones propuestas de tratamiento de combustibles.

Evaluación de la efectividad del tratamiento de combustibles

El propósito principal de este trabajo es examinar la manera en que un programa de tratamiento de combustibles a escala de paisaje tendría probabilidades de cambiar los resultados de incendios futuros. En el eje de esta evaluación se encuentra una comparación de los resultados probables de incendios bajo condiciones de combustibles existentes (CE) y condiciones de combustibles post-tratamiento (PT). Formalmente, utilizamos simulaciones para calcular un efecto del tratamiento previsto, como el cambio en los resultados esperados de los incendios:

$$\Delta E(Z) = E(Z_{PT}) - E(Z_{EC}), \quad (1)$$

donde Z es un vector de k medidas de resultados de incendios, $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_k\}$. El efecto del tratamiento $\Delta E(Z)$ representa la diferencia en los resultados para el incendio promedio⁷. Para el caso de estudio en este trabajo, Z se compone de los costos de supresión (C), el área quemada en la interfaz urbano-forestal (IUF), el área quemada en el hábitat de las especies amenazadas y en peligro de extinción (AP), y el área quemada en los rodales del bosque primario (BP)⁸.

El método de simulación descrito en la siguiente sección, combinado con los cálculos de los costos de supresión y la exposición al peligro de los RBGVs, genera distribuciones de los resultados de incendios bajo condiciones de combustibles existentes y de post-tratamiento. Es decir, cada elemento de Z se asocia con una distribución simulada bajo cada condición:

$$EC: f^{EC}(Z_k) \sim (\mu_k^{EC}, \sigma_k^{EC}) \quad (2)$$

$$PT: f^{PT}(Z_k) \sim (\mu_k^{PT}, \sigma_k^{PT}) \quad (3)$$

Los resultados esperados estimados bajo las CE y PT ($\hat{\mu}_k^{EC}$ y $\hat{\mu}_k^{PT}$) son el valor medio de la distribución simulada de cada elemento de Z . Los errores estándar utilizados para calcular los intervalos de confianza para $\hat{\mu}_k^{EC}$ and $\hat{\mu}_k^{PT}$ son generados mediante bootstrapping (Efron 1979).

Las estimaciones de $\hat{\mu}_k^{CE}$ and $\hat{\mu}_k^{PT}$ pueden interpretarse como el efecto marginal esperado de incendios sobre el paisaje no tratado y tratado, respectivamente. El efecto del tratamiento esperado, $\Delta E(Z)$, es la diferencia en los efectos marginales debida a los tratamientos de los combustibles. Por lo tanto,

⁷ En este caso de estudio especificamos explícitamente que los tratamientos de los combustibles no afectan el número de igniciones, y no modelamos esfuerzos de combate inicial diferenciados. Los efectos de los tratamientos pueden indicar menores escapados, “grandes” incendios sobre la base de tasa de propagación reducida y probabilidad de contención incrementada. Los efectos de estos incendios sobre los RBGVs aún pueden ser modelados, pero los costos de supresión no pueden ser estimados para estos incendios más pequeños.

⁸ Si todas las salidas en Z pudieran ser expresadas en unidades conmensuradas, tales como dólares, entonces los efectos del tratamiento es el cambio esperado en los costos totales para el incendio promedio, donde los costos totales para un incendio dado son $CT = \sum_k Z_k$.

$$\Delta E(Z_k) = \mu_k^{CE} - \mu_k^{PT} \quad \forall k. \quad (4)$$

Métodos

La evaluación de los efectos potenciales de los tratamientos consiste en modelar primero la manera en que los tratamientos afectarán el comportamiento del fuego, y a su vez, modelar la manera en que el comportamiento alterado del fuego puede afectar los costos de supresión y la exposición de los RBGVs a los incendios.

Modelación de Simulación de Incendios Forestales

Los resultados de este trabajo se basan en simulaciones de incendios antes y después de que se haya aplicado un tratamiento de los combustibles al paisaje. Se comparan los cambios potenciales en los tamaños de los incendios mediante la alteración de los modelos de combustibles superficiales y las variables de dosel resultantes del tratamiento. Este enfoque, explícitamente, busca capturar los efectos de los tratamientos de los combustibles tanto en el sitio como fuera del sitio, lo cual es especialmente importante en áreas como el oeste de los EE.UU., donde la principal fuente de probabilidad de quema es la propagación de grandes incendios a partir de igniciones distantes.

Los incendios son simulados con el modelo de simulación de grandes incendios, FSim (Finney y otros 2011). FSim usa un método de ensamble que combina un modelo logístico para generar igniciones de incendio, un flujo simulado de clima diario (velocidad y dirección del viento, humedad relativa) para cada "temporada" simulada de incendios, un algoritmo que aumenta el incendio de nodos quemados a sin quemar (el algoritmo de propagación de fuego Tiempo Mínimo de Viaje (TMV), (ver Finney 2002), y un algoritmo de contención (ver Finney y otros 2009). La ocurrencia del fuego y el crecimiento y contención de cada ignición de incendio son simulados a través de miles de temporadas simuladas de incendios para un determinado paisaje. Los resultados individuales de incendio se resumen en todas las temporadas simuladas para caracterizar el régimen del fuego de un paisaje.

Las entradas para FSim incluyen información que describe los combustibles y el terreno espaciales en el paisaje (altitud, pendiente, aspecto, modelo de los combustibles de superficie, cubierta del dosel, altura del dosel, altura de la base del dosel, y densidad aparente del dosel), y los datos históricos sobre el clima tomados de una Estación Meteorológica Automática Remota (EMAR). Los datos sobre el terreno y los combustibles son estáticos en el paisaje, en el sentido de que FSim no altera estas variables de un día simulado al siguiente, o de una temporada a otra. FSim genera flujos de condiciones meteorológicas simuladas para cada día en cada temporada simulada de incendios basados en el análisis estadístico de los datos

climáticos históricos de incendios.

FSim produce cálculos en formato ráster de la probabilidad de quema y la intensidad de la línea de fuego a una resolución de píxel de 30 metros y capas de formato vectorial de cada perímetro de incendio forestal simulado. La probabilidad de quema se cuantifica como el número de veces que un determinado píxel se quema (ya sea de la ignición al azar dentro del píxel o la propagación del fuego a partir de un píxel adyacente) dividido por el número de temporadas de incendios simuladas. Típicamente, el análisis de la exposición explora la superficie quemada esperada e intensidad utilizando probabilidades de quema agrupando la exposición de múltiples incendios (Scott y otros 2012a). El uso de los perímetros individuales permite un análisis alternativo de la exposición del paisaje al fuego, cuantificando la distribución condicional de los acres quemados en un solo incendio (Scott y otros 2012b). Es decir, además de resumir la distribución de tamaños de incendios y de superficie quemada, los perímetros se pueden combinar con otros datos espaciales para caracterizar los efectos potenciales de los incendios en el paisaje (como se describe más adelante).

En nuestras simulaciones hemos parametrizado el FSim para utilizar ubicaciones de ignición y condiciones climáticas idénticas para los escenarios CE y PT, con el fin de atribuir directamente los cambios en los resultados de los incendios a los efectos del tratamiento⁹. Debido a que la única diferencia entre las simulaciones de pre- y post-tratamiento son las condiciones de la superficie y del combustible del dosel en todo el paisaje, el efecto de los tratamientos de los combustibles está aislado de las diferencias potenciales en el clima, la frecuencia de ignición y la política de manejo de incendios. Los incendios simulados de cada escenario se utilizan entonces para comparar las diferencias pre- y post-tratamiento en el tamaño y la intensidad del incendio, los costos de supresión estimados, y la exposición a incendios de los RBGVs.

Modelación de costo de supresión

Los tratamientos de los combustibles no afectan directamente el costo de supresión de grandes incendios forestales, pero podrían afectar indirectamente los costos mediante la alteración de los resultados de incendios que pudieran cambiar las estrategias utilizadas para manejar los incendios. Los tratamientos de los combustibles podrían llevar a reducciones en la severidad de la quema (Wimberly y otros 2009, Martinson y Omi 2008), lo que puede permitir que los incendios sean manejados con respuestas de supresión menos agresivas y podrían dar lugar a costos

⁹ También pueden existir diferencias en el tamaño de los incendios que resultan de manchones, lo que se determina estocásticamente en FSim, aunque esto se asume para dar cuenta de las diferencias insignificantes en los resultados de los incendios.

de supresión más bajos. Sin embargo, una respuesta de supresión menos agresiva puede conducir finalmente a incendios de mayor duración y al aumento de la superficie quemada, lo que podría resultar en costos iguales o superiores a estrategias más agresivas (Gebert y Black 2012). Alternativamente, los tratamientos de los combustibles podrían permitir respuestas de supresión más agresivas, por ejemplo, más oportunidades para ataque directo, debido a la reducción de la intensidad del fuego (Hudak y otros 2011). Nuestro enfoque de modelación no tiene en cuenta directamente los efectos de las tácticas de supresión cambiadas.

El cambio de las distribuciones de tamaño de los incendios resultantes de un tratamiento de los combustibles también podría afectar los costos de supresión. El tamaño del fuego (es decir, la superficie quemada) es un factor primario asociado con los costos de supresión. Las áreas de los combustibles tratados pueden desacelerar la propagación de los incendios, incrementando la probabilidad de que un incendio dado pueda ser contenido en menor tiempo y con un tamaño más pequeño. En este estudio, la diferencia en la superficie quemada es el factor principal que resulta en las diferencias de costos de supresión resultantes de los tratamientos de los combustibles.

Los efectos de los tratamientos de los combustibles sobre los costos de supresión se calculan utilizando un modelo de regresión de costos desarrollado por el Servicio Forestal de los EE.UU. El modelo de costos de grandes incendios (Gebert y otros 2007) es un modelo de regresión construido a partir de datos históricos de costos de incendios que estima los costos por acre y costos finales del incendio como una función del tamaño total del incendio, las variables de entorno del incendio (por ejemplo, la pendiente, el aspecto, el clima del fuego), y los valores en riesgo (por ejemplo, la distancia a la ciudad, el valor total de las viviendas dentro de 20 millas). For the purposes of the fire cost model, large fires are defined as fires at least 300 acres in size. Para los fines del modelo de costos de fuego, los grandes incendios se definen como los incendios de al menos 300 acres de tamaño. El modelo de costo está insertado en el Sistema de Apoyo para la toma de Decisiones sobre Incendios Forestales como guía para la contención de costos y se usa como una medida de desempeño en la identificación de incendios altamente costosos (Calkin y otros 2011, Noonan-Wright y otros 2011). El modelo de costo se utilizó en este análisis para estimar los costos de supresión de todos los grandes incendios simulados que crecieron a por lo menos 300 acres (~121 hectáreas).

El Cuadro 1 enumera las variables y los coeficientes de regresión utilizados para calcular los costos de cada incendio simulado¹⁰. El modelo predice los costos de supresión por acre para cada incendio, el cual se multiplica por los acres quemados

¹⁰ Se presenta y describe el modelo en su formato original, utilizando el Sistema Inglés. Sin embargo, más adelante se presentan los resultados utilizando unidades métricas.

para obtener los costos totales de cada incendio. Debido a que los incendios son simulados utilizando los mismos puntos de ignición e información meteorológica, los únicos factores que pueden cambiar el costo predicho de un incendio post-tratamiento son el área quemada y los combustibles durante la ignición. Nótese que algunos incendios que se encienden donde los combustibles no se han modificado todavía pueden tener un área quemada post-tratamiento diferente si se queman en una parcela con combustibles tratados.

Cuadro 1— *Variables y coeficientes de regresión para predecir los costos de supresión por incendio. El modelo presentado es una versión modificada del modelo de costo original presentado en Gebert y otros (2007), actualizado con años adicionales de datos y ajustado para retornar sólo gastos de supresión del Servicio Forestal de los EE.UU.*

Variable	Formato de Regresión	Coeficiente
Superficie quemada	Logaritmo natural de los acres quemados	-0.3207
Aspecto (radianes)	Coseno del aspecto	-0.1431
	Seno del aspecto	-0.0509
Elevación (pies sobre el nivel del mar)	Logaritmo natural de la elevación	0.3603
Distancia al poblado más cercano (millas)	Logaritmo natural de la distancia	-0.2623
Componente de liberación de energía, frecuencia acumulativa	Percentil (1 – 100)	0.0195
Valor total de las viviendas dentro de un radio de 20 millas de la ignición (\$)	Logaritmo natural del valor / 100,000	0.1422
Ignición dentro de un área natural	Binario, =1 si se encendió dentro del Área natural	0.3922
Si la ignición está dentro de un Área Silvestre, distancia del punto de ignición al borde del Área Silvestre más cercano	Logaritmo natural de la distancia al borde	-0.5856
Pendiente	Logaritmo Natural de la pendiente	0.1134
Modelo de combustible en la ignición:	Variables categóricas binarias	(categoría de referencia)
Pasto		-0.0023
Matorral		0.5128
Matorral 4		0.8553
Madera en pie		0.5673
Restos de arbolado		1.2028
Identificador de región – USFS región 6	=1 para todos los incendios en el caso de estudio	1.9823
Constante de la regresión		2.0200
Factor de re-transformación ¹		

¹El factor de re-transformación (FR) corrige el sesgo en la re-transformación al convertir el logaritmo natural del costo por acre (la variable dependiente de la regresión) a costo por acre en dólares (ver Duan 1983).

Análisis de Exposición de los RBGVs a Incendios Forestales

Se presentan dos métodos complementarios para cuantificar la exposición de los RBGV a incendios forestales, los cuales se diferencian en su uso de los resultados de los modelos de simulación de incendios. La premisa fundamental de ambos enfoques es el acoplamiento de las características del incendio espacialmente resueltas con mapas de RBGVs. A modo de ejemplo, elaboramos datos espaciales para tres RBGVs socioeconómicos y ecológicos de un conjunto más amplio de RBGVs identificados en forma colaborativa por el personal de Deschutes y grupos de interés (*Northwest Fire Learning Network 2012*): la interfaz urbano-forestal (IUF), tramos de arroyos y cuencas clave identificados como hábitat de especies acuáticas amenazadas y en peligro de extinción (AP), y bosques primarios de pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) y de árboles de coníferas mixtas secos (BP). El análisis comparativo de exposición ilustra los efectos del tratamiento mediante la comparación de los resultados de la modelación de escenarios en condiciones existentes y de post-tratamiento.

En el primer método de análisis de exposición, se adopta un nuevo enfoque que superpone perímetros de incendios con mapas de RBGVs. A diferencia del uso de probabilidades agregadas de quemaduras basadas en píxeles, este método permite la cuantificación de los impactos potenciales en función de cada incendio. A su vez, esto permite la cuantificación de la distribución de la superficie quemada condicional de los RBGVs. En los casos en que los tratamientos de los combustibles reducen el potencial de propagación del fuego, se anticipa que la superficie quemada de los RBGVs disminuirá en el escenario de modelación post-tratamiento. Esta información puede ser especialmente útil donde la extensión espacial de la quema puede influir en la respuesta al incendio de los RBGVs. Este enfoque resulta difícil porque los resultados de la simulación no producen las intensidades del fuego (longitudes de llamas) por incendios.

Como un método complementario, por lo tanto, también se cuantifican las diferencias en la exposición de los RBGVs mediante la comparación de la superficie quemada esperada por categoría de longitud de llama. Los resultados de las probabilidades de quema condicionales del FSim cuantifican la probabilidad de incendio a una determinada longitud de llama, condicionado al píxel que se quema. Utilizando estos resultados, la superficie quemada esperada se calcula como la suma del área de un cierto RBGV asumido para quemarse en cada una de las seis categorías longitud de llama¹¹ y se calcula como:

¹¹ FSim genera probabilidades condicionales de quema para seis categorías de longitud de llama: < 2 ft (0.6 m), 2–4 ft (0.6–1.2 m), 4–6 ft (1.2–1.8 m), 6–8 ft (1.8–2.4 m), 8–12 ft (2.4–3.7 m), > 12 ft (3.7 m).

$$\text{Superficie esperada} = \sum_{i=1}^6 PQ_{fl_i} \times A \quad (5)$$

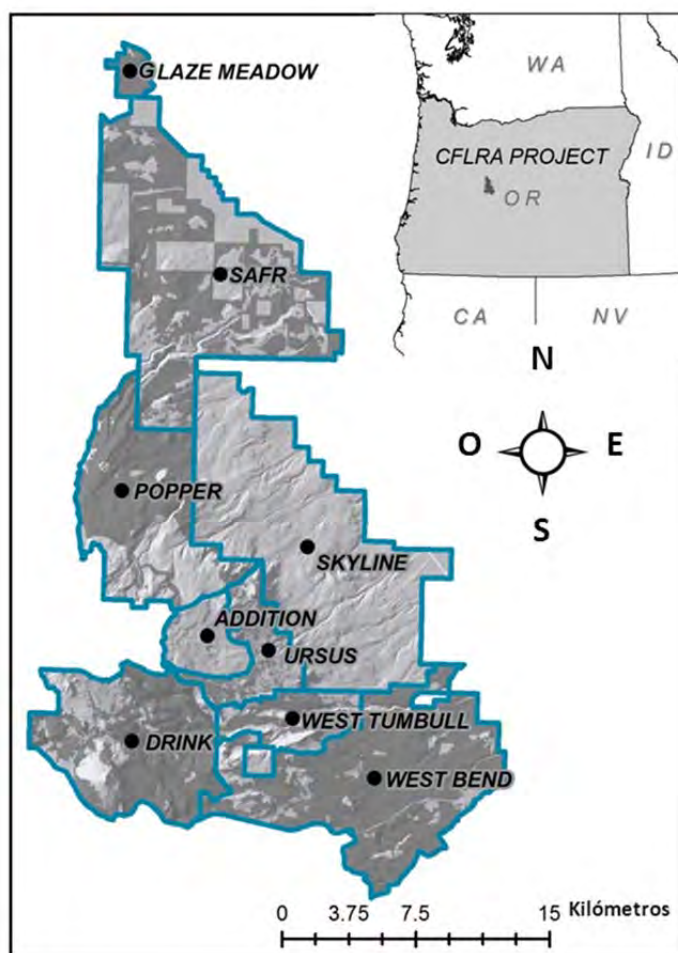
donde PQ_{fl_i} es la probabilidad de quema en la i -ésima categoría de longitud de llama y A es la superficie de cada pixel de 30 x 30 m (es decir, 0.09 hectáreas). La intensidad del fuego es un resultado importante de incendios, porque incluso si una superficie de RBGVs se quema, un incendio de baja intensidad puede causar un daño relativamente pequeño en comparación con un incendio de alta intensidad. Evaluar sólo la superficie quemada puede subestimar los impactos potenciales de un tratamiento de combustibles si la distribución de la intensidad del fuego se desplaza debido al tratamiento. En los casos en que los tratamientos de los combustibles reducen la probabilidad y/o la intensidad del incendio, se espera que la distribución de la superficie quemada esperada se desplace hacia intensidades menores bajo el escenario de modelación post-tratamiento.

Caso de Estudio: Bosque Nacional Deschutes, Oregón, EE.UU.

La Figura 1 presenta un mapa del paisaje de análisis (209,207 hectáreas) y el área del proyecto, la mayoría de las cuales se encuentran dentro del Bosque Nacional Deschutes (BND) (58,680 hectáreas totales; 45,320 hectáreas del Servicio Forestal) en el centro-oeste de Oregón. El paisaje de análisis se extiende más allá de los límites del proyecto para dar cuenta de la propagación de fuego proveniente de igniciones a distancia sobre el área del proyecto, y viceversa. La mayor parte del paisaje está compuesta por pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) y los tipos de bosques de coníferas mixtas secas, caracterizada por frecuentes incendios de baja severidad. Las partes occidentales del paisaje, sin embargo, incluyen los tipos de bosques de coníferas mixtas húmedas, con severidad de incendios mixta e intervalos de retorno entre 35 y 150 años. Los objetivos generales del tratamiento son restaurar los ecosistemas forestales, promover la resiliencia, y la protección de los RBGVs.

El personal del BND proporcionó datos sobre la vegetación y las capas de combustible reflejando las condiciones existentes (pre-tratamiento), así como los polígonos de tratamiento y las condiciones de combustible post-tratamiento. En total, 27,036 hectáreas (alrededor de 46% del área del proyecto) se proyectan para recibir tratamiento durante el período de planificación de 2010 a 2019¹².

¹² Los detalles sobre la forma en que los tratamientos de los combustibles fueron modelados, incluyendo los cambios en los combustibles de superficie y de copa, y la longevidad asumida del tratamiento, se presentan en Thompson y otros [en revisión] y pueden ser puestos a disposición por los autores.



Leyenda

- Áreas del proyecto
- Unidades de tratamiento

Figura 1— Mapa del paisaje del caso de estudio, con áreas del proyecto y unidades de tratamiento resaltadas. Las áreas del proyecto (excluyendo Skyline) están localizadas dentro del Bosque Nacional Deschutes, en el centro-oeste de Oregon.

Resultados

El Cuadro 2 presenta las estimaciones de los resultados esperados para la superficie total quemada, la superficie en la interfaz urbano-forestal (IUF), el hábitat de especies acuáticas amenazadas y en peligro de extinción (AP), y los rodales del bosque primario (BP). También se presentan los efectos del tratamiento (la diferencia entre las condiciones existentes y los resultados post-tratamiento). Los resultados sugieren que los tratamientos de los combustibles son efectivos para reducir el tamaño final esperado de los incendios, lo cual entonces reduce los costos de supresión esperados y la superficie quemada esperada de los RBGVs. Los costos de

supresión para incendios promedio se reducen en casi 600,000 dólares después del tratamiento (aproximadamente 6%). La exposición al daño potencial de incendio también es menor, con superficie quemada de los RBGVs reducida entre 10 y 16 % post-tratamiento.

Cuadro 2—*Resultados medios de incendios simulados bajo condiciones de combustibles existentes y post-tratamiento, con errores bootstrapped presentados en paréntesis. El modelo de regresión utilizado para estimar el costo de supresión por incendio no es válido para incendios menores de alrededor de 121 hectáreas (ver Gerbert y otros 2007). Algunas igniciones en el conjunto de datos simulados que fueron mayores a 300 acres bajo condiciones existentes fueron menores a 300 acres en tamaño post-tratamiento; estas observaciones son excluidas de las estimaciones de costos de supresión PT.*

	Tamaño del incendio, ha	Costo de supresión, 2010 \$	Superficie quemada de Recursos y Bienes de Gran Valor (RBGV)		
			Interfaz Urbano-Forestal, ha	Hábitat de especies acuáticas amenazadas y en peligro, ha	Rodales de bosques primarios, ha
Condiciones Existentes (CE)	3,855 (77.13)	8,990,166 (130,967)	3,368 (75.78)	844.0 (22.53)	1,206 (25.45)
Post-Tratamiento (PT)	3,431 (73.49)	8,407,933 (135,815)	2,996 (72.06)	701.4 (20.61)	1,077 (24.47)
Diferencia (PT – CE)	-423.9 (18.13)	-582,233 (185,860)	-372.2 (17.04)	-142.6 (6.425)	-129.0 (5.474)

Errores estándar *bootstrap* estimados usando 1,000 repeticiones, donde el tamaño de cada muestra es igual al número total de incendios en la distribución simulada, o 5,667. El muestreo para cada réplica ocurre con reemplazo.

Los efectos de los tratamientos de los combustibles se pueden aclarar aún más mediante el examen de la intensidad a la que los fuegos queman pre- y post-tratamiento en las áreas con RBGVs. La Figura 2 resume la distribución de la superficie quemada para cada RBGV por categoría de longitud de llama. Las longitudes de llama más cortas (categoría uno) indican un incendio de baja intensidad, mientras que las longitudes de llama más largas (hasta la categoría seis) indican incendios de alta intensidad.

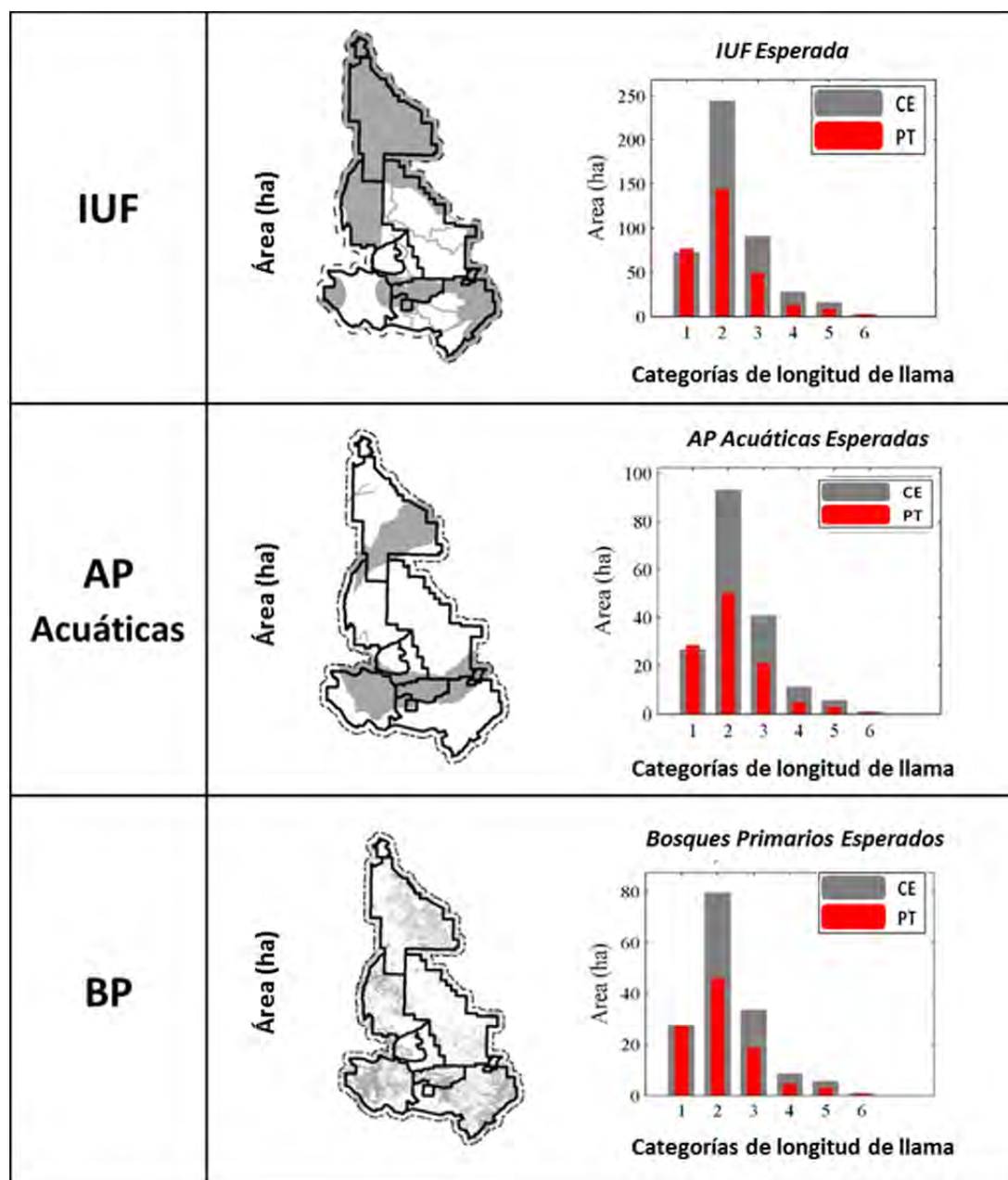


Figura 2— Distribución de la superficie quemada esperada de RBGV por categorías de longitud de llama bajo condiciones de paisaje existentes (CE) y post-tratamiento (PT). Los paneles de la izquierda indican la distribución geográfica actual de cada RBGV mapeado, lo que influye en el grado de exposición probable a incendio forestal.

A diferencia de los resultados del Cuadro 2, los cuales incluyen todos los incendios simulados dentro del área de análisis, los resultados en la Figura 2 se

limitan a un área de amortiguación de 1 km alrededor de las áreas del proyecto. La expectativa es una señal más fuerte del efecto del tratamiento, debida a la captura de una proporción relativamente mayor de los incendios que se intersecan con las áreas tratadas. En concordancia con los resultados del Cuadro 2, la Figura 2 muestra que menos área de cada RBGV se quema después del tratamiento (es decir, las barras son más bajas en promedio). Pero también hay evidencia de que después de los tratamientos la distribución relativa se mueve hacia intensidades de fuego menores. Por ejemplo, la superficie quemada en la longitud de llama más corta incrementa después del tratamiento en la IUF y en los hábitats de especies amenazadas y en peligro, pero la superficie quemada en longitudes de llama más largas disminuye. Del mismo modo, la superficie quemada en los rodales del bosque primario disminuye en las intensidades más altas, pero permanece más o menos igual en las intensidades más bajas.

Discusión

El principal beneficio de este análisis de estudio de caso es que ofrece a los gerentes y planificadores un lenguaje común y un conjunto de métricas para tomar decisiones sobre tratamientos potenciales de los combustibles. No hacemos, en este ejercicio, una conclusión acerca de si el tratamiento propuesto en el Bosque Nacional Deschutes debe proceder. Sin embargo, los gerentes podrían comparar los efectos del tratamiento a través de múltiples paisajes a la hora de decidir cómo asignar los limitados presupuestos para el tratamiento de combustibles para lograr el mayor impacto beneficioso. La manera en que los gerentes pueden sopesar los cambios en el riesgo para los diferentes RBGVs no se conoce, pero los resultados de la simulación proporcionan información suficiente para facilitar compensaciones en la toma de decisiones.

Existen varias limitaciones y factores condicionantes para el estudio actual. En primer lugar, los resultados están supeditados a las respectivas precisiones de los datos de entrada de paisajes y combustibles, de los cambios asumidos en las condiciones de los combustibles después del tratamiento, y de los modelos de simulación de incendios forestales y de costos de supresión. En segundo lugar, el conjunto de posibles tratamientos de paisaje modelado podría cambiar debido a las realidades de los presupuestos y a la planificación de proyectos, y de hecho ya han habido cambios a los planes para la aplicación de tratamientos. En tercer lugar, la presentación de sólo los resultados promedio podría enmascarar variabilidad importante en la distribución de los posibles resultados de incendios. En cuarto lugar, las conclusiones de los resultados se limitan a las evaluaciones de la exposición al riesgo, en lugar de las predicciones de los efectos sobre los RBGVs. Las

simulaciones de incendios permiten examinar la probabilidad de que una determinada parcela se queme pre- y post-tratamiento, pero no hacemos ningún pronóstico de la magnitud del impacto potencial sobre los RBGVs debido al fuego. En quinto lugar, no modelamos ninguna actividad relacionada con el ataque inicial de supresión. Los cambios en los combustibles pueden crear condiciones más favorables para contener un fuego de manera temprana; asumimos que todas las igniciones que "escaparon" previo a los tratamientos de los combustibles también habrían escapado después del tratamiento. Modelar los esfuerzos de ataque inicial permitiría la exploración de las compensaciones a través de inversiones en manejo en materia de preparación, combustibles, y respuesta de supresión. Esto se deja como un área de investigación futura.

Otra extensión lógica de investigación sería comparar, tanto dentro como entre los paisajes, los efectos relativos de diferentes tamaños y patrones espaciales de los tratamientos, en lugar de la única propuesta de tratamiento analizada aquí. Puede ser que los tratamientos espacialmente dirigidos, incluso a una escala menor, pueden proporcionar el mayor retorno de la inversión para un programa de tratamiento de combustibles. Por último, el apoyo a las decisiones para los tratamientos de combustibles no puede ser completo sin la comparación de los efectos potenciales del tratamiento frente a los costos de tratar el paisaje. Estos costos no se consideran explícitamente aquí, pero serían útiles para comparar un menú de opciones de tratamiento potenciales.

Otra posible vía de investigación es la determinación de la escala espacial apropiada para evaluar la efectividad de los tratamientos. Tener en cuenta sólo los incendios simulados que intersectan las áreas tratadas sobre-predecirían la efectividad del tratamiento, debido al hecho de que, en cualquier área dada, hay una probabilidad muy baja de que un tratamiento realmente experimente un incendio a lo largo de una temporada de incendios (Campbell y otros 2012). Esta es una base fundamental para el uso de modelación de probabilidad de quema para analizar la eficacia (Ager y otros 2010). En contraste, tener en cuenta una gran área de estudio tendería a reducir la eficacia de los tratamientos mediante la inclusión de un gran conjunto de incendios que nunca interactúan con las áreas tratadas. Por ejemplo, las reducciones de costos de supresión de incendios encendiendo dentro de las áreas tratadas promediaron 35 % (Thompson y otros 2013b), mientras que a través de toda el área de análisis, la reducción de costos de supresión promedió 6 % (Cuadro 2). Se podría esperar que las variaciones similares en las estimaciones del efecto del tratamiento fuesen los resultados de la Figura 2 para incluir una anchura amortiguación diferente. Trabajos futuros podrían explorar la manera en que las estimaciones de la efectividad del tratamiento son sensibles a la escala espacial, y con técnicas geoespaciales, podrían tratar de generar superficies de respuesta al

tratamiento suavizadas.

Sumario

Este trabajo examina la cuestión de si los tratamientos de los combustibles a escala de paisaje pueden reducir los riesgos y los costos asociados a los grandes incendios forestales. Una evaluación basada en la simulación de resultados de incendios previos y posteriores a un tratamiento propuesto en un paisaje de estudio de caso (el Bosque Nacional Deschutes) sugiere que el tratamiento puede reducir la superficie quemada de los recursos y bienes de gran valor, y reducir los costos directos del manejo de grandes incendios forestales. Los incendios que queman el paisaje tratado también tienden a ser menos intensos, lo que lleva a una reducción en el área de los recursos y bienes de gran valor que se quema en las intensidades más altas y más perjudiciales. Estos efectos del tratamiento pueden ser interpretados como el efecto de los tratamientos de los combustibles sobre la exposición al riesgo de incendios forestales.

Agradecimientos

Damos las gracias al personal del Bosque Nacional Deschutes. Esta investigación fue apoyada por el Centro Nacional de Apoyo a las Decisiones sobre Incendios.

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(8): 1556-1570.
- Calkin, D. E.; Thompson, M. P.; Finney, M. A.; Hyde, K. D.** 2011. A Real-Time Risk Assessment Tool Supporting Wildland Fire Decisionmaking. *Journal of Forestry* 109(5): 274-280.
- Campbell, J.L.; Harmon, M.E.; Mitchell, S.R.** 2012. Can fuel-reduction treatments really increase forest carbon storage in the western US by reducing future fire emissions? *Front. Ecol. Environ* 10(2):83-90.
- Duan, N.** 1983. Smearing estimate: a nonparametric retransformation method. *Journal the American Statistical Association* 78(383): 605-610.
- Efron, B.** 1979. Bootstrap methods: another look at the jackknife. *The Annals of Statistics*, 7(1), 1-26.
- Finney, M. A.; McHugh, C. W.; Stratton, R. D.; Riley, K.L.** 2011. A simulation of probabilistic wildfire risk components for the continental United States. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25(7): 973-1000.
- Finney, M. A.; Grenfell, I. C.; McHugh, C. W.** 2009. Modeling containment of large wildfires using generalized linear mixed-model analysis. *Forest Science* 55(3): 249-255.
- Finney, M. A.** 2002. Fire growth using minimum travel time methods. *Canadian Journal of Forest Research* 32(8):1420-1424.
- Gebert, K. M.; Black, A. E.** 2012. Effect of Suppression Strategies on Federal Wildland Fire Expenditures. *Journal of Forestry* 110(2): 65-73.
- Gebert, K. M.; Calkin, D. E.; Yoder, J.** 2007. Estimating Suppression Expenditures for Individual Large Wildland Fires. *Western Journal of Applied Forestry* 22(3): 188-196.
- Hudak, A. T.; Rickert, I.; Morgan, P.; Strand, E.; Lewis, S. A.; Robichaud, P. R.; Hoffman, C.; Holden, Z. A.** 2011. Review of fuel treatment effectiveness in forests and rangelands and a case study from the 2007 megafires in central, Idaho, USA. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-252. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 60 p.
- Martinson, E .J.; Omi, P. N.** 2008. Assessing mitigation of wildfire severity by fuel treatments – an example from the Coastal Plan of Mississippi. *International Journal of Wildland Fire* 17: 415-420.
- Moghaddas, J. J.; Collins, B. M.; Menning, K.; Moghaddas, E. Y.; Stephens, S. L.** 2010. Fuel treatment effects on modeled landscape-level fire behavior in the northern Sierra Nevada. *Canadian Journal of Forest Research* 40(9): 1751-1765.
- Noonan-Wright, E. K.; Opperman, T. S.; Finney, M. A.; Zimmerman, G. T.; Seli, R. C.; Elenz, L. M.; Calkin, D. E.; Fiedler, J. R.** 2011. Developing the U.S. Wildland Fire Decision Support System (WFDSS). *Journal of Combustion*, Article ID 168473, 14p.
- Northwest Fire Learning Network.** 2012. Deschutes Forest and Landscape-level Treatments Incorporating Multiple Values. Available at:

http://nw.firelearningnetwork.org/region_files/deschutes/DeschutesValuesExercise_Methods.pdf Last accessed 25 Aug 2012.

- Scott, J. J.; Helmbrecht, D.; Thompson, M. P.; Calkin, D. E.; Marcille, K.** 2012a. Probabilistic assessment of wildfire hazard and municipal watershed exposure. *Natural Hazards* doi: 10.1007/s11069-012-0265-7
- Scott, J. H.; Helmbrecht, D. J.; Parks, S. A.; Miller, C.** 2012b. Quantifying the Threat of Unsuppressed Wildfires Reaching the Adjacent Wildland-Urban Interface on the Bridger-Teton National Forest, Wyoming, USA. *Fire Ecology* 8(2): 125-142.
- Thompson, M. P.; Calkin, D. E.; Finney, M. A.; Gebert, K. M.; Hand, M. S.** 2013a. A Risk-Based Approach to Wildland Fire Budgetary Planning. *Forest Science* 59(1): 63-77.
- Thompson, M. P.; Vaillant, N. M.; Haas, J. R.; Gebert, K. M.; Stockmann, K. D.** 2013b. Quantifying the Potential Impacts of Fuel Treatments on Wildfire Suppression Costs. *Journal of Forestry* 111(1): 49-58
- Wimberly, M. C.; Cochrane, M. A.; Baer, A. D.; Pabst, K.** 2009. Assessing fuel treatment effectiveness using satellite imagery and spatial statistics. *Ecological Applications* 19(6): 1377-1384.

Economía del Manejo de Incendios Forestales: Contabilización Espacial de Costos y Beneficios¹

José J. Sánchez^{2,3}, Ken Baerenklau⁴, Armando González-Cabán³, y Kurt Schwabe⁴

Resumen

Para evaluar de mejor manera los impactos potenciales de incendios forestales en el Bosque Nacional San Bernardino, desarrollamos una capa de datos con sistema de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) que contiene los valores económicos no comerciales para el Distrito de Guardabosque San Jacinto. Cada píxel en la capa de datos contiene una estimación de los valores ajenos al mercado más prominentes de su ubicación. Esta información puede ser utilizada por los administradores forestales como ayuda en la toma de decisiones al momento de decidir cómo asignar recursos para proteger las áreas de alto valor. Para estimar el componente de valor recreativo y pérdidas potenciales debido a incendios forestales, excursionistas de áreas naturales, entrando al Área Silvestre Protegida de San Jacinto, fueron reclutados para completar una encuesta por Internet durante el verano de 2012. Un modelo de costo de viaje se utilizó para calcular los valores asociados. Este trabajo presenta los resultados preliminares de la encuesta y el trabajo de modelado en curso.

Palabras clave: Análisis de cuencas visuales GIS, método de costo de viaje, valores no comerciales, valores de recreación.

Introducción

Los incendios forestales afectan a millones de personas en todo el mundo. Se estima que globalmente 350 millones de hectáreas son quemadas anualmente. (González-Cabán 2008). En los Estados Unidos, un promedio anual de 3.5 millones de hectáreas

¹Una versión resumida de este artículo fue presentada en el Cuarto Simposio Internacional en Economía de los Incendios, Planeación y Política: Cambio Climático e Incendios Forestales. 5-11 de noviembre de 2001, Ciudad de México, México.

²Estudiante doctoral, Departamento de Ciencias Medioambientales, Universidad de California, Riverside, Riverside, CA. 92521, EE.UU.

³Economista e investigador económico respectivamente, Estación de Investigación Pacífica Suroeste Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal, Riverside, CA. 92507, EE.UU. correo electrónico: jsanchez@fs.fed.us; agonzalezcaban@fs.fed.us

⁴Profesor asociado, Departamento de Ciencias Medioambientales, Universidad de California, Riverside, Riverside, CA. 92521, EE.UU.

de bosques se quemaron entre 2004 y 2008, a un costo anual de supresión de 1.6 billones de dólares.

La pérdida de recursos naturales, la propiedad y la vida como resultado de incendios forestales es también una preocupación importante. Las áreas boscosas son especialmente importantes debido a sus múltiples usos (residencial, recreación y la captura de carbono, entre otros). El bosque también ofrece otros servicios que no son directamente utilizables pero que la gente disfruta de alguna otra manera (por ejemplo, el conocimiento de que existen ecosistemas únicos, la preservación para las generaciones futuras o para uso futuro). Promover estrategias eficaces de administración de los terrenos, es necesario para determinar tanto los valores de uso como los de no uso de esas áreas. Algunos valores de uso se pueden identificar directamente desde las transacciones de mercado (por ejemplo, el precio de los predios residenciales, tarifas de entrada). Para otros valores ajenos al mercado y de no uso, los economistas de los recursos naturales utilizan técnicas tales como las del método de valuación de contingencia (CVM, por sus siglas en inglés (p.s.s.e.i.)) (Loomis y otros 2002), método de costo de viaje (TCM, p.s.s.e.i.) (Hesseln y otros 2003), método de precios hedónicos (HPM, p.s.s.e.i.) (Mueller y otros 2009), y método experimental de elección declarada (CE) (Louviere y otros 2000) para determinar valores económicos. Sin embargo, los análisis tradicionales de valoración ajena al mercado no intentan determinar el valor específico de cada pieza de un paisaje o de cómo el bienestar se ve afectado si sólo una parte de un área forestal se ve afectada por incendio.

Los incrementos recientes en el poder de cómputo han dado a los investigadores la habilidad de usar sistemas de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés). A medida que el uso de esta herramienta se ha tornado más popular, los investigadores han comenzado a combinar los *softwares* de GIS con métodos de evaluación ajenos al mercado para ayudar a los gerentes de tierras y forestales (por ejemplo véase Baerenklau y otros 2010; González-Cabán y otros 2003). Esta combinación ha permitido a los investigadores derivar representaciones de los valores de terrenos en espacios específicos; sin embargo, tales estudios son inusuales y poco es conocido acerca de cómo el valor agregado de un área forestal debería ser asignado al paisaje. Tener esta información empoderará a los gerentes de recursos, participantes y hacedores de política para tomar decisiones mejor fundamentadas respecto de cómo utilizar los recursos más eficientemente.

En este artículo proveemos un marco teórico para determinar el valor económico del Área Silvestre Protegida de San Jacinto. La información resultante permite a los gerentes de distritos contra incendios planear estrategias de protección contra incendios para reducir pérdidas potenciales debidas a incendios forestales. Conocer el nivel potencial de pérdidas debidas a incendios podría ayudarles a decidir

la reasignación de la distribución de los recursos para combate de incendios existentes a efecto de reducir pérdidas. El método de costo de viaje es implementado para estimar los beneficios de recreación. La colecta de datos se está llevando a cabo a través de una encuesta basada en internet y estará concluida a fines de septiembre de 2012. Por lo tanto en este artículo presentamos los resultados preliminares para el valor de acceso al bosque.

Manejo de incendios

El incendio forestal ha sido una constante amenaza a los ecosistemas occidentales de los Estados Unidos, pero se ha convertido en un problema más serio debido en parte a las condiciones cada vez más secas y a prácticas de manejo que han promovido la acumulación de combustibles de enlace. En una evaluación anual reciente, el Departamento de Agricultura y Servicio Forestal de los Estados Unidos (USDAFS, por sus siglas en inglés) reportó que 1.7 millones de acres se quemaron en los Estados Unidos en tanto que extinguió más de 230 incendios masivos y gastó US\$ 1.46 billones para combatir incendios (USDA 2009). Recientemente, los costos de combate a incendios se han incrementado dramáticamente, en tanto que los niveles de financiamiento del Congreso (estadounidense) han permanecido estables (USDA 2009). Por ello, los gerentes de distritos contra incendios necesitan herramientas para comprender cuáles estrategias de protección son más eficientes. Sin embargo, las herramientas actuales sólo consideran costos de prevención o combate de incendios, no los beneficios económicos provistos por los bosques.

Beneficios de los bosques

Un bosque ofrece varios beneficios a la sociedad que van desde la conservación de los ecosistemas para uso recreativo. Los economistas de recursos naturales tienen diferentes métodos de valoración ajenos al mercado que pueden ser utilizados para estimar los valores de uso y de no uso asociados a los recursos naturales. Loomis y González-Cabán (1998) utilizaron una encuesta CVM para estimar los beneficios económicos de reducir los incendios en los bosques antiguos. Fix y Loomis (1998) examinaron los beneficios económicos del ciclismo de montaña, en Moab, Utah, con un TCM, mientras Powe y otros (1997) utilizaron un HPM para estimar los beneficios que los residentes recibieron de la accesibilidad a bosques. Hanley y otros (1998) utilizaron el CE para estimar los valores de los activos ambientales (bosques, ríos). El conocimiento de los beneficios y valores obtenidos de los bosques permitiría a los administradores establecer prioridades en sus decisiones para proteger las tierras más valiosas potencialmente afectadas por incendios.

Impactos de los incendios

Existen muchos tipos de desastres naturales y causados por el hombre que dañan o afectan a los recursos naturales. A pesar de que el fuego es una parte natural de muchos paisajes, los incendios catastróficos—frecuentemente producidos por una combinación de ambos, factores naturales y humanos—son particularmente dañinos para los bosques. El impacto de los incendios sobre los recursos naturales y las consecuencias económicas asociadas son difíciles de estimar (González-Cabán y otros 2003). La dificultad surge porque hay poca información sobre los efectos de los incendios sobre los valores ajenos al mercado proporcionados por los bosques. Estudios tempranos (Vaux y otros 1984, Flowers y otros 1985) encontraron que es probable que los incendios intensos tengan impactos negativos en la recreación. Estudios recientes han explorado estos efectos negativos. Loomis y otros (2001) encuestaron a visitantes del Bosque Nacional en Colorado para estudiar los efectos de los incendios en la concurrencia y en los beneficios del excursionismo y el ciclismo de montaña. Utilizando un TCM, los autores encontraron que los incendios de copas afectaron indirectamente a los beneficios por ciclistas de montaña, pero no tuvieron efectos significativos en excursiones de senderismo.

También utilizando un TCM, Hesseln y otros (2003) encontraron que ambos, excursionistas y ciclistas de montaña en Nuevo México, reaccionaron de manera similar a incendios prescritos de recuperación y a incendios de copas, con cada grupo disminuyendo su tasa de visita. Hesseln y otros (2004) también encontraron resultados similares al encuestar excursionistas y ciclistas de montaña en cuatro bosques nacionales en el oeste de Montana. Las diferencias en los resultados entre Loomis y otros (2001) y Hesseln y otros (2003, 2004) sugieren que el tipo de actividad de recreación puede ayudar a determinar la manera en que los usuarios reaccionan ante incendios.

En el estudio de dos rutas de senderismo en las montañas Cascade, afectadas por un incendio forestal de gran escala (40,000 acres), Hilger y Englin (2009) encontraron que el ecosistema forestal tuvo un aumento a corto plazo en los valores de concurrencia y que los valores de viaje fueron los mismos que antes del incendio. Englin y otros (2001) examinaron los efectos de largo plazo de incendios en tres diferentes estados: Colorado, Wyoming e Idaho. Utilizando un TCM, los autores encontraron que la concurrencia incrementó debido a incendio reciente, y disminuyó por los siguientes 17 años, y entonces se recuperó para los 8 años restantes de su periodo de observación. En un estudio similar conducido por Boxall y Englin (2008) para el piragüismo en el Bosque Boreal Canadiense, los daños se produjeron inmediatamente después de un incendio, pero después de 35 años de rebrote, los valores de recreación del bosque volvieron a los niveles pre-incendios.

Sistemas de información geográfica

El aumentado poder de cómputo ha hecho a los sistemas de información geográfica (GIS) más accesibles y utilizables en conjunción con la valoración ajena al mercado para derivar valores de paisajes espacialmente explícitos. Por ejemplo, Eade y Morán (1996) desarrollaron un “mapa de valor económico” para el área de conservación del Río Bravo en Belice utilizando el método de transferencia de beneficio y un GIS para asignar espacialmente los valores de servicios ambientales. Troy y Wilson (2006) emplearon un enfoque similar para producir un mapa de flujos de valores de servicios de ambientales basado en los tipos de cobertura del terreno para tres estudios de caso. González-Cabán y *otros* (2003) estimaron los efectos de las quemaduras prescritas en la cría de ciervos usando datos de series de tiempo y enfoques de GIS con TCM y CVM; en tanto que Cavailhe y *otros* (2009) evaluaron los valores de paisaje y su efecto sobre los precios de alojamiento usando GIS y HPM. Un estudio más relevante es la aplicación de valoración de paisaje basada en GIS por Baerenklau y *otros* (2010). Los autores utilizaron datos de permisos de recreación y un TCM zonal para estimar el valor agregado de la recreación y asignaron espacialmente el valor al paisaje utilizando un análisis de “vista de cuenca” basado en GIS.

Utilizando técnicas similares de GIS como en Baerenklau y *otros* (2010) desarrollaremos una capa de datos económicos, lo que nos permite asignar los valores de recreación a lo largo de todo el espacio natural protegido, y así entender cómo el bienestar económico se ve afectado si sólo una parte de la superficie forestal se ve afectada por incendios. Este enfoque proporciona información a tomadores de decisiones para evaluar las ventajas y desventajas entre las pérdidas potenciales esperadas basadas en localización.

Objetivos del estudio

Este trabajo utiliza herramientas GIS y métodos de valores ajenos al mercado para obtener una representación espacial del valor de recreación del Área Silvestre Protegida de San Jacinto, Bosque Nacional San Bernardino, California. Esta investigación tiene cuatro objetivos:

Objetivo 1- Estimar los valores de acceso a senderos para escenarios hipotéticos de superficie quemada

Una encuesta por Internet está siendo administrada en el Área Silvestre Protegida San Jacinto. Utilizando ambos, CVM y TCM, los valores de uso económico (acceso a sendero) serán estimados y utilizados para ayudar a determinar cómo los cambios en cuencas visuales (debido a la intensidad de incendio hipotético, al porcentaje de área quemada y a la distancia de visualización) afectan el comportamiento de viaje.

Objetivo 2- Derivar valores de paisaje espacialmente explícitos

El estudio de Baerenklau y otros (2010) utilizó un TCM y datos de fácil acceso para permisos de recreación y censos demográficos para estimar valores de acceso al espacio natural protegido. Los autores también utilizaron una técnica de análisis de cuencas visuales para obtener valores de paisaje espacialmente explícitos. Sin embargo, esta técnica utilizó suposiciones no comprobadas sobre la percepción de la calidad natural y paisajista que los datos de permisos de recreación por sí solos no pueden validar. La encuesta por Internet utilizada aquí también proporcionará la información necesaria para asignar espacialmente el valor recreativo del área protegida. Estos valores serán comparados con Baerenklau y otros (2010) para determinar si su método más simple y menos intensivo en datos produce resultados fiables.

Objetivo 3- Estimar una función de precios hedónicos transferibles

El HPM valora indirectamente las características ambientales a través de comparar dos bienes directamente relacionados, con uno teniendo atributos ambientales adicionales. Una función de valor hedónico del paisaje será producida utilizando características de parcelas (por ejemplo, pendiente, elevación, distancia a los senderos, vegetación) colectadas en el Área Silvestre Protegida de San Jacinto y valores derivados del paisaje, haciendo así que los resultados obtenidos por el método más intensivo en datos propuesto en este estudio sean potencialmente transferible a otras áreas silvestres.

Objetivo 4- Determinar cómo se recuperan los valores de los paisajes después de incendios forestales

Las respuestas a escenarios hipotéticos de quemas en la encuesta proporcionarán información acerca de las preferencias individuales y el comportamiento de concurrencia como resultado de un incendio y su duración e intensidad, permitiendo así la determinación de cómo los valores de recreación se recuperan después de los incendios forestales y si existe una heterogeneidad espacial significativa en el proceso de recuperación a lo largo del paisaje.

Diseño de la encuesta

Sitio de estudio

Este estudio se centra en excursionistas de áreas naturales que visitan el área protegida de San Jacinto, Bosque Nacional San Bernardino, en el sur de California (Figura 1). El espacio natural protegido abarca 13,350 hectáreas y se encuentra dentro de un rango de 2.5 horas en automóvil de los condados de Orange, Los Ángeles, San Diego, Riverside y San Bernardino, cerca de la ciudad de Idyllwild. La ciudad tiene una población de 14,846, el ingreso promedio anual por hogar es de US\$ 67,061, y 14.3% de la población tiene al menos un título de licenciatura (Oficina del Censo de los EE.UU., 2010). Las elevaciones van desde los 1,800 a los 3,300 metros. El área silvestre protegida recibe aproximadamente 60,000 visitantes al año y otras 350,000 personas visitan el Parque Estatal Montaña San Jacinto a través del teleférico de *Palm Springs*. El área silvestre está regulada por el Servicio Forestal del USDA. La actividad más popular es el excursionismo diurno. Los paseantes entran al área silvestre a través del teleférico o en automóvil hasta los senderos ubicados en Idyllwild.

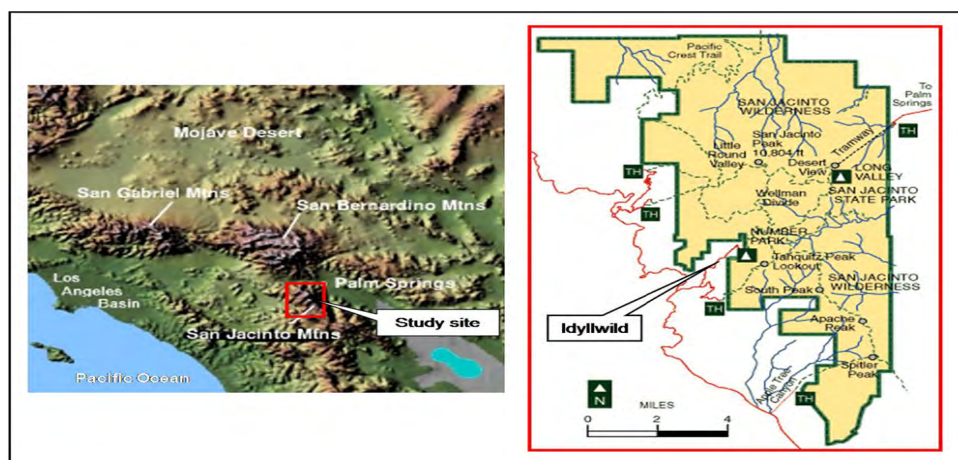


Figura 1— Ubicación del Área Silvestre Protegida San Jacinto. Mapa provisto por Baerenklau y otros (2010).

Grupo de decisión y pre-prueba

Una versión inicial de la encuesta fue presentada a tres grupos de discusión (entre octubre de 2011 y marzo de 2012) para evaluar el diseño del estudio, la claridad de la redacción, el uso de los gráficos, el rango de valores utilizados, y para considerar si temas importantes fueron omitidos o soslayados. Versiones revisadas de la encuesta fueron pre-probadas (durante mayo y junio de 2012) para evaluar si los encuestados estaban respondiendo a las preguntas de una manera sensata o no, comprobar que la encuesta por Internet funcionaba correctamente (es decir, que el enlace de la encuesta estuviese activo, que las imágenes se cargasen correctamente) y verificar el tiempo requerido para completar la encuesta (aproximadamente 20 minutos).

Diseño de la muestra

En el estudio fueron reclutados excursionistas, en tanto obtenían sus permisos de visita al Área Silvestre en la Estación de Guardabosques del USDAFS en Idyllwild y en la Estación de Guardabosques del parque estatal Monte San Jacinto en Long Valley, durante los meses de verano comprendidos entre junio de 2012 y septiembre de 2012. El volante de reclutamiento (Figura 2) incluyó el objetivo del estudio, información incentivo para los participantes que completasen la encuesta, así como los datos de contacto del investigador. Para disminuir el sesgo de autoselección y aumentar la velocidad de respuesta, un estudiante de la Universidad de California en Riverside (UCR) fue asignado a la Estación de Guardabosque de Idyllwild durante los fines de semana y un día a la semana, proporcionando más información sobre el estudio, así como la recopilación de direcciones de correo electrónico de participantes interesados. Un protocolo similar se siguió en la Estación de Guardabosques de Long Valley, pero un estudiante estaba allí solamente en los dos días de mayor afluencia de visitantes: viernes y sábado.



Figura 2— Volante de reclutamiento.

La encuesta por Internet se llevó a cabo utilizando una modificación del enfoque de Dillman (2007). El investigador notificó inicialmente a los participantes a través

de correo electrónico que un enlace de la encuesta sería enviado dentro de un día por *SurveyMonkey*, un software de encuestas basado en Internet y una herramienta de cuestionario. Aproximadamente una semana después de recibir el enlace de la encuesta, los no respondientes recibieron un recordatorio amigable vía correo electrónico para completar la encuesta. El aviso incluyó el enlace a la encuesta e información incentivo para completarla. Un último recordatorio por la misma vía fue enviado a los no respondientes aproximadamente 3 semanas después del contacto inicial. Los no respondientes fueron eliminados de la lista de participación una semana después de haber enviado el último recordatorio.

Los interesados en participar que no proporcionaron su dirección de correo electrónico cuando se encontraban obteniendo su permiso de excursionismo podrían enviar un correo electrónico directamente al investigador solicitando el enlace de la encuesta. Al día siguiente de recibir el mensaje de un participante, el investigador envió una respuesta agradeciéndole por haber aceptado participar. El correo electrónico de *SurveyMonkey* siguió poco después.

El instrumento encuesta

La encuesta vía Internet se divide en tres secciones. La primera aborda el comportamiento en el viaje de recreación e información relacionada con los costos. La segunda sección consta de escenarios hipotéticos de superficie quemada que contienen cinco atributos de interés: porcentaje quemado de la cuenca visual (25%, 50% y 75%), la intensidad del incendio (bajo, medio y alto), tiempo desde el siniestro (0-5 años, 6-15 años, y más de 15 años), distancia de visibilidad (en primer plano, plano medio y fondo), y sendero afectado por el fuego; en *Idyllwild* hay cuatro caminos: *Deer Springs*, *Devil's Slide*, *Marion Mountain* y *South Ridge*; en *Long Valley*: *Long Valley*. Los cinco caminos fueron seleccionados porque tienen las mayores tasas de concurrencia basado en datos de 2005⁵. La última sección de la encuesta recoge datos demográficos e información personal, incluyendo el género, el origen étnico, edad, nivel de estudios, situación laboral e ingresos.

Hay un total de 405 ($3^4 \times 5$) combinaciones posibles de tratamiento para los escenarios de superficie quemada. Un diseño factorial completo no fue implementado debido a que interacciones de orden superior se consideran insignificantes. Solamente estuvimos interesados en los efectos principales y las interacciones de 2 vías. Se decidió que la estrategia más eficiente fue la implementación de un diseño factorial fraccionado (Montgomery 2005) para los escenarios de superficie quemada para reducir la carga cognitiva que enfrentan los encuestados. Un diseño *D-efficient* de

⁵ De un total de 34,218 visitantes permitidos en el Área Silvestre Protegida de San Jacinto, en 2005, 33,194 visitaron las 5 rutas (Baerenklau y otros 2010).

100%, que contenía 45 corridas (combinaciones de tratamiento), fue seleccionado para el diseño factorial fraccionado utilizando los comandos % mktruns y %mkteval en el software estadístico SAS (SAS Institute Inc. 2010).

A los participantes en la encuesta se les mostró una serie de cinco fotografías de superficies quemadas, cada una representando el paisaje del Área Silvestre Protegida de San Jacinto en caso de que un incendio se produjera allí en el futuro. Por ejemplo, un escenario hipotético de superficie quemada estaría representada por una imagen de un incendio reciente de baja intensidad en el primer plano junto con una descripción de la medida (50% del área visible) y ubicación (a lo largo del sendero *Deer Springs*) de la superficie quemada (Figura 3). A los participantes se les pidió que informasen cuántos paseos habrían tomado en los últimos 12 meses para cada una de los 5 caminos si las condiciones del sendero hubiesen cambiado como en la fotografía mostrada.

Figure
3—
Ejemplo



	Número de viajes de recreación
Sendero Deer Springs	
Sendero Devil's Slide (Parque Humber)	
Sendero Marion Mountain	
Sendero South Ridge	
Long Valley (teleférico de Palm Springs)	

hipotético de superficie quemada en la encuesta vía Internet

Modelo econométrico

Un enfoque de sistema de demanda incompleta (von Haefen 2002) se utilizó para estimar el TCM y las medidas de bienestar asociadas (es decir, el valor de acceso a

los bosques) y los cambios en el bienestar debidos a escenarios hipotéticos de incendios forestales.

Modelo de costo de viaje

El concepto básico del TCM es que el gasto de viaje al lugar sea utilizado como indicador del precio del acceso al sitio. El método se basa en el costo incurrido por el individuo para visitar el recurso objeto de la valoración, que incluye tanto los gastos de bolsillo y el costo de oportunidad del tiempo. Los gastos de bolsillo pueden incluir los costos de conducción (por ejemplo, gasolina, peajes, y la depreciación del vehículo), alimentos, equipos, etc. El costo de oportunidad es el costo asociado al tiempo de viaje hacia y desde la zona y es un elemento importante del TCM (véase, por ejemplo, Hagerty y Moeltner 2005, McConnell y Strand 1981, McKean y otros 1995, y Smith y otros 1983). En este estudio, los costes de conducción son una función de la distancia (estimados a partir de los mapas de *Google*) y el costo promedio por milla de operar un automóvil típico (US\$ 0.585/milla; AAA, 2012). Los costos de tiempo son una función del tiempo de viaje (estimado a partir de los mapas de *Google*) y el costo de oportunidad del tiempo es asumido como un tercio de los ingresos promedio reportados por hora de las personas (Hagerty y Moeltner 2005).

El TCM se calcula utilizando un enfoque de sistema de demanda incompleta. Un sistema de demanda incompleta proporciona un marco teórico adecuado para el modelado de la demanda de múltiples bienes y derivar estimaciones de bienestar. Los sistemas múltiples han sido desarrollados junto con las fórmulas de bienestar asociadas. La especificación de la demanda por viajes utilizada aquí es dada por (von Haefen 2002):

$$x_j = \alpha_j(q) \text{Exp}(\sum_{k=1}^J \beta_{jk} p_k + \gamma_j \gamma), \forall j \quad (1)$$

Donde x_j es la demanda de viajes al sitio $j \in \{1, \dots, J\}$; p_k es el costo de acceso al sitio k ; cada β es un parámetro estimable describiendo el efecto de los costes de acceder al sitio k en la demanda de viajes al sitio j ; γ es el ingreso promedio anual del jefe de familia, α_j es una función estimable, y γ_j son parámetros estimables. Para garantizar que podemos derivar estimaciones de bienestar teóricamente correctas para el sistema de demanda en la ecuación (1), tenemos que hacer las siguientes suposiciones (LaFrance 1990, von Haefen 2002)

$$\begin{aligned} \alpha_j(q) &> 0, \forall j \\ \gamma_j &= \gamma, \forall j \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}\beta_{jk} &= 0, \forall j \neq k \\ \beta_{jj} &< 0, \forall j\end{aligned}$$

Imponiendo estas restricciones en la ecuación (1) resulta:

$$x_j = \exp(a_j(q)\beta_j p_j + \gamma y), \forall j \quad (3)$$

Donde $a_j \equiv \ln(\alpha_j(q))$ y cada β_j está restringida a ser negativo.

Los parámetros del modelo son estimados usualmente utilizando la distribución *Poisson* o la distribución binomial negativa, porque la demanda de viajes es no negativa ($x_j \geq 0$). Aquí especificamos que la demanda individual de cada sitio sigue una distribución *Poisson* independiente (Cameron y Trivedi 1986):

$$Pr(x_j = x_j^*) = \frac{\exp(-\lambda_j)\lambda_j^{x_j^*}}{x_j^{*!}} \quad (4)$$

Con media y varianza igual a λ_j . La función de log-verosimilitud está dada por:

$$L = \sum_{j=1}^J [-n\lambda_j + x_j^* \ln \lambda_j - \ln x_j^{*!}] \quad (5)$$

Con $\lambda_j \equiv \exp(\delta' q_j + \beta_j p_j + \gamma y)$.

LaFrance (1990) y von Haefen (2002) derivaron una función de utilidad cuasi indirecta de este sistema de demanda.

$$\phi(p, q, y) = -\frac{1}{\gamma} \exp(-\gamma y) - \sum_{j=1}^J \frac{\alpha_j(q)}{\beta_j} \exp(\beta_j p_j) \quad (6)$$

El excedente del consumidor (CS, por sus siglas en inglés) es derivado de la curva de demanda como la diferencia entre las intenciones de pagar de los individuos (por ejemplo, el área completa bajo la curva de demanda) y lo que de hecho pagan (por ejemplo, sus costos de viaje). El CS promedio por viaje es calculado como:

$$CS_j = \frac{1}{-\beta_{tc}} \quad (7)$$

Donde β_{TC} es el parámetro estimado para la variable costo de viaje.

Resultados

La encuesta por Internet se llevó a cabo en junio y concluirá el 30 de septiembre de 2012. El análisis preliminar fue hecho para estimar el valor de acceso a los bosques

con las primeras 100 observaciones. Las observaciones con tiempo de viaje mayor a 3 horas y costo de viaje mayor de US\$ 1,000 fueron retiradas de la base de datos. Un total de 87 observaciones fueron analizadas (51 de Idyllwild y el 36 de Long Valley).

Las estadísticas descriptivas de las características de los encuestados, utilizadas en el modelo empírico se muestran en la Tabla 1. Ambos sitios tienen tasas similares de concurrencia y costo de viaje (un promedio de 3 viajes al año y costo por viaje de US\$ 71 a US\$ 75). Las estadísticas más interesantes son las variables del ingreso, la edad y la educación (expresada como grado universitario). Los visitantes del área silvestre protegida son personas con altos ingresos (US\$ 92,211), mayores que los residentes en Idyllwild (45 años), tienen mayor nivel educativo (79% tienen al menos una licenciatura) y realizan pocos viajes al año.

Tabla 1—Estadísticos descriptivos para las respuestas de la encuesta para las variables incluidas en la especificación del modelo econométrico

Variable	Descripción	Media (desv.est.)
Viajes_ID	Viajes por año al sitio Idyllwild	2.89 (5.99)
Trips_LV	Viajes por año al sitio Long Valley	2.98 (5.43)
TC_ID	Costo por viaje hacia Idyllwild	\$75.89 (43.82)
TC_LV	Costo por viaje hacia Long Valley	\$71.33 (47.68)
Edad	Edad del encuestado	44.94 (12.86)
Grado de estudios (variable <i>dummy</i>)	Contar con al menos un título universitario; Si = 1; de otro modo = 0	.79 (.41)
Empleado (variable <i>dummy</i>)	estar empleado durante el año pasado; Si = 1; de otro modo = 0	.64 (.48)
EnvGrp	Pertenecer a un grupo ambientalista; Si = 1; de otro modo = 0	.18 (.39)
Género (variable <i>dummy</i>)	Género del encuestado; hombre = 1 Mujer = 0	.61 (.49)
Ingreso	Ingreso anual por hogar	\$92,211 (46,183)

En el modelo *Poisson* estándar (Tabla 2), las estimaciones de los parámetros en las variables de costo, género y grupo ambiental fueron negativas y estadísticamente significativas en los niveles de 0,01 y 0,05, respectivamente. La variable costo concuerda con la teoría económica. A mayor costo del viaje, menos serán los viajes que una persona realizará al sitio.

La variable grupo ambiental (*EnvGrp*) tiene signo negativo y es estadísticamente significativa, lo que significa que, contrariamente a nuestras expectativas, las personas que pertenecen a un grupo ambiental exhiben menor

demanda. El hacinamiento es visto como una preocupación importante para la preservación de las áreas naturales protegidas. Por lo tanto, una explicación plausible para el signo negativo de esta variable es que los ambientalistas prefieren visitar sitios menos concurridos. Las estimaciones de los parámetros de ingreso y empleo fueron negativas, pero no significativas. Sin embargo, el sitio, la edad y el grado (no significativo) se asocian con una mayor demanda para los viajes a cada sitio. El senderismo en un área remota, como el Área Silvestre Protegida de San Jacinto, requiere una gran cantidad de tiempo. Por lo tanto, puede ser más atractivo para los individuos mayores (en edad) y de ingresos altos (66% en la muestra tienen un ingreso medio mayor que en Idyllwild) y los que tienen más tiempo disponible (por ejemplo, las personas jubiladas y/o desempleados). Los valores de acceso se calcularon utilizando la ecuación (7). El CS promedio por viaje para Idyllwild es US\$ 89,29 y para Long Valley el valor es US\$ 23,87.

Tabla 2—Estimadores del modelo Poisson. La variable dependiente es el número de viajes realizados en los pasados 12 meses.

Variable	Modelo	
	Estimación	Err. Est.
Constante	-42.05***	(5.21)
Sitio	31.72***	(5.87)
TC_ID	-0.0112***	(0.0022)
TC_LV	-0.0419***	(0.0052)
Ingreso	-0.0015	(0.00146)
Género	-0.2201*	(0.1245)
Edad	0.0452***	(0.0058)
EnvGrp	-0.3617**	(0.1702)
Grado	0.1375	(0.1601)
Empleado	-0.0006	(0.0005)
N	87	
McFadden R ²	0.3227	

Nota: * indica significancia a nivel de 0.10, ** indica significancia a nivel de 0.05, *** indica significancia a nivel de 0.01. N es el número de observaciones. El R² de McFadden es la medida de bondad de ajuste que está basada en los estimadores de la función de máxima verosimilitud incluyendo el intercepto sólo *versus* el modelo completo y rangos entre 0 (sin poder de explicación) y 1 (poder de explicación perfecto).

Conclusión y Discusión

Este análisis debe interpretarse cautelosamente. La recolección de datos está todavía en curso y el tamaño de la muestra utilizada en el análisis representa menos de 20% del total esperado. Los resultados preliminares muestran que los visitantes del área natural protegida San Jacinto son diferentes de los residentes de Idyllwild. Como se mencionó anteriormente, los visitantes de la muestra son personas con ingresos altos (US\$ 92,211) y con alto nivel de formación con 79% teniendo al menos un título de licenciatura, mientras que los residentes en Idyllwild tienen un ingreso familiar anual más bajo (US\$ 67,061) y sólo 14,3% tiene al menos un título de licenciatura (Oficina del Censo de los EE.UU., 2010). Creemos que el mismo patrón se mantendrá al analizar el conjunto de datos completo.

El modelo econométrico usado en el análisis muestra que el CS promedio por viaje no es el mismo para ambos sitios. El costo de acceso por persona en Idyllwild es más del doble que en Long Valley. Esperábamos que los valores fuesen similares, ya que ambos sitios tienen acceso a los mismos destinos, así como gastos de viaje similares. Sin embargo, la diferencia en CS es debida a diferentes curvas de demanda para cada sitio. El tener CS más grande (β_{TC} más pequeño) significa que la curva de demanda es menos elástica (por ejemplo, menos sensible a cambios en costos de viaje), en tanto que tener CS más pequeño (β_{TC} más grande) significa que la demanda es más sensible a costos de viaje (más elástica). Una posible razón para la diferencia es que los campistas están siendo abordados en nuestra encuesta de uso diurno. En la muestra había 18 individuos que reportaron el acampar como una actividad realizada cuando visitaron el área. Doce de ellos visitaron Idyllwild y seis Long Valley. Los viajes que implican pernocta son más costosos que los viajes diurnos. Esto puede ser visto en los datos de nuestra encuesta. Los individuos que se involucraron en actividades de campismo tuvieron un costo de US\$ 150, mientras que los no campistas reportaron US\$ 45. Un modelo removiendo a campistas de la base de datos resultó en variaciones mínimas en las estimaciones. Por lo tanto, esta información puede ayudar a explicar algo de la diferencia en el valor de acceso por persona para Idyllwild y Long Valley.

En general, nuestros resultados preliminares muestran que los visitantes del Área Silvestre Protegida de San Jacinto son diferentes (personas de altos ingresos, tienen educación superior y son de mayor edad) de la población de Idyllwild, y, potencialmente, poseen estimaciones de bienestar más altas que la población en general del sur de California. El modelo econométrico demostró que los valores de acceso por persona son diferentes para ambos sitios debido a los viajes de posible pernocta. Un análisis más detallado se llevará a cabo en el conjunto de datos completo, teniendo en cuenta sólo a los individuos que realizan viajes diurnos.

Utilizando técnicas GIS, análisis futuros estimarán valores específicos para cada parte del paisaje y cómo se ve afectado el bienestar económico si sólo una parte de la superficie forestal se ve afectada por incendios. Esta información puede ser utilizada por los gerentes forestales y participantes como una ayuda en la decisión para evaluar las ventajas y desventajas asociadas a estrategias alternativas de manejo de incendios que promuevan futuros programas de protección contra incendios forestales más sostenibles. Los valores espacialmente explícitos del paisaje también podrían ser utilizados para la evaluación de la conservación de los áreas con espacios naturales protegidos, diseño de redes de senderos, desarrollo de áreas para acampar, la zonificación y la elaboración de normas de construcción para comunidades rurales, la ubicación de caminos panorámicos y miradores, los reglamentos de desarrollo de líneas costeras, y el diseño de tarifas de impacto en desarrollos de locaciones específicas.

Sumario

Para evaluar de mejor manera los impactos potenciales de los incendios forestales en el Bosque Nacional San Bernardino, desarrollamos una capa de datos con sistema de información geográfica (GIS por sus siglas en inglés) que contiene valores económicos no comerciales para el Distrito de Guardabosques San Jacinto. Cada Pixel en la capa de datos contiene una estimación de los valores ajenos al mercado más prominentes en esa locación. Esta información puede ser utilizada por los gestores forestales como una ayuda en la toma de decisiones al momento de decidir cómo asignar los recursos para proteger las áreas de alto valor.

Para estimar el componente de valor de recreación y las potenciales pérdidas debidas a incendios forestales, excursionistas de áreas naturales, entrando al Área Silvestre Protegida San Jacinto, fueron reclutados para completar una encuesta basada en Internet durante el verano de 2012. Un modelo de costo de viaje fue utilizado para calcular los valores asociados. Este artículo presenta resultados preliminares de la encuesta y el trabajo de modelado en curso.

Agradecimientos

Agradecemos a Andy Smith y al equipo del Distrito de Guardabosques San Jacinto en el Bosque Nacional San Bernardino, y a Bart Grant y equipo en el Parque Estatal y Vida Silvestre Montaña San Jacinto por su ayuda en la distribución de folletos de reclutamiento. Además, a los estudiantes de la Universidad de California en Riverside, Noemí Villegas-Valadez y Yi-Chia Chu, y al interno de la asociación hispana de colegios y universidades José Román por su ayuda en el trabajo de campo,

así como a Rich Alldredge, John Loomis, Pete Schuhmann, y Javier Suárez por sus útiles comentarios provistos en el desarrollo del diseño de la encuesta.

Referencias

- American Automobile Association (AAA), 2012.** Cost of Owning and Operating Vehicle in U.S. Increased 1.9 Percent According to AAA's 2012 'Your Driving Costs' Study. Available at: <<http://newsroom.aaa.com/2012/04/cost-of-owning-and-operating-vehicle-in-u-s-increased-1-9-percent-according-to-aaa%E2%80%99s-2012-%E2%80%98your-driving-costs%E2%80%99-study/>>. Accessed July 2012.
- Baerenklau, K.A., González-Cabán, A., Paez, C., Chavez, E. 2010.** Spatial allocation of forest recreation values. *Journal of Forest Economics***16**(2):113-126
- Boxall, P. and Englin, J. 2008.** Fire and recreation values in fire-prone forests: exploring an intertemporal amenity function using pooled RP-SP data. *Journal of Agricultural and Resource Economics* **33**:19-33.
- Cameron, A. and Trivedi, P. 1986.** Econometric models based on count data: comparisons and applications of some estimators and tests. *Journal of Applied Econometrics***1**:29-54
- Cavailhès, J., Brossard, T., Foltête, JC, Hilal, M., Joly, D., Tourneux, FP, Tritz, C., and Wavresky, P. 2009.** GIS-based hedonic pricing of landscape. *Environmental Resource Economics***44**:571-590.
- Dillman, D.A. 2007.** Mail and internet surveys, 2nd Edition. *John Wiley & Sons, Inc.*
- Eade, J.D.O. and Moran, D. 1996.** Spatial economic valuation: benefit transfer using geographic information systems. *Journal of Environmental Management***48**:97-110.
- Englin, J., Boxall, P., and Watson, D. 1998.** Modeling recreation demand in a poisson system of equations: an analysis of the impact of international exchange rates. *American Journal of Agricultural Economics***80**(2):1837-1844
- Englin, J., Loomis, J., and González-Cabán, A. 2001.** The dynamic path of recreational values following a forest fire: a comparative analysis of states in the intermountain west. *Canadian Journal of Forest Research***31**:1837-1844.
- ESRI. 2006.** ArcMap 9.2. Using ArcGIS Spatial Analyst. *Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.*
- Fix, P and Loomis, J.B. 1997.** The economic benefits of mountain biking at one of its meccas: An application of the travel cost method to mountain biking in Moab, Utah. *Journal of Leisure Research***29** (3):342-352.
- Flowers, P.J., Vaux, H.J., Jr., Gardner, P.D., and Mills, T.J. 1985.** Changes in recreation values after fire in the northern Rocky Mountains. *USDA Forest Service Research Note Pac. RN-PSW-373.*
- González-Cabán, A. 2008.** Proceedings of the second international symposium on fire economics, policy, and planning: a global view. Gen. Tech. Rep. PSW-208, Albany, CA: *Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.* pp. 720
- González-Cabán, A., Loomis, J., Griffin, D., Wu, E., McCollum, D., McKeever, J., and Freeman, D. 2003.** Economic value of big game habitat production from natural and prescribed fire. *U.S. Forest Service Pacific Southwest Research Station Research Paper #249.* Available at: http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_rp249/ Accessed October 2010.

- Hagerty, D. and Moeltner, K. 2005.** Specification of driving costs in models of recreation demand. *Land Economics* **81**(1):127-143.
- Hanley, N., Wright, R.E, and Adamowicz, V. 1998.** Using choice experiments to value the environment. *Environmental and Resource Economics* **11**(3-4):413-428.
- Hesseln, H., Loomis, J.B., González-Cabán, A. 2004.** The effects of fire on recreation demand in Montana. *WJAF* **19**(1):47-53.
- Hesseln, H., Loomis, J.B., González-Cabán, A. and Alexander S. 2003.** Wildfire effects on hiking and biking demand in New Mexico: a travel cost study. *Journal of Environmental Management* **69**:359-368.
- Hilger, J., and Englin, J. 2009.** Utility theoretic semi-logarithmic incomplete demand systems in a natural experiment: Forest fire impacts on recreational values and use. *Resource and Energy Economics* **31**:287-298.
- LaFrance, J.T. 1990.** Incomplete demand systems and semilogarithmic demand models. *Australian Journal of Agricultural Economics* **34**(2):118-131.
- Loomis, J. B., and González-Cabán, A. 1998.** A willingness-to-pay function for protecting acres of spotted owl from fire. *Ecological Economics* **25**:315-322.
- Loomis, J., González-Cabán, A., and Englin, J. 2001.** Testing for differential effects of forest fires on hiking and mountain biking demand and benefits. *Journal of Agricultural and Resource Economics* **26**(2):508-522.
- Loomis, J. B., Griffin, D., Wu, E., González-Cabán, A. 2002.** Estimating the Economic Value of Big Game Habitat Production from Prescribed Fire Using a Time Series Approach. *Journal of Forest Economics* **8**(2):119-129.
- Louviere, J.J., Hensher, D.A., Swait, J.D. 2000.** Stated Choice Methods. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Mueller, J., Loomis, J., and González-Cabán, A. 2009.** Do repeated wildfires change homebuyers' demand for homes in high-risk areas? A hedonic analysis of the short and long-term effects of repeated wildfires on house prices in Southern California. *Journal of Real Estate Finance Economics* **38**:155-172.
- Powe, N.A., Garrod, G.D., Brunsdon, C.F. and Willis, K.G. 1997.** Using a geographic information system to estimate an hedonic price model of the benefits of woodland access. *Forestry* **70**(2):139-149.
- SAS Institute Inc. 2010.** SAS 9.3. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Troy, A. and Wilson, M.A. 2006.** Mapping ecosystem services: practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological Economics* **60**(2): 435-449.
- US Census Bureau. 2010.** 2006-2010 American Community Survey. Available at: <http://factfinder2.census.gov/faces/nav/jsf/pages/searchresults.xhtml>. Accessed July 2012.
- USDA. 2009.** Fire and Aviation Management Fiscal Year 2008 Accountability Report. *United States Department of Agriculture, Forest Service.* Washington, DC.
- Vaux, H.J., Jr., Gardner, P.D., and Mills, T.J. 1984.** Methods for assessing the impact of fire on forest recreation. *USDA Forest Service GTR-PSW-79*.
- von Haefen, R.H. 2002.** A complete characterization of the linear, log-linear, and semi-log incomplete demand system models. *Journal of Agricultural and Resource Economics* **27**(2):281-319.

Análisis Económico de la Quema Prescrita Para la Gestión de Incendios en Australia Occidental¹

Veronique Florec², David Pannell³, Michael Burton⁴, Joel Kelso⁵, Drew Mellor⁶, y George Milne⁷

Resumen

Los incendios forestales pueden causar un daño significativo a los ecosistemas, la vida y los bienes; aquellos incendios forestales que no involucran ni a las personas ni a los bienes son cada vez menos comunes. Con la expansión de la interfase urbano-rural en el oeste de Australia y en otros sitios, se vuelven más difíciles alcanzar los objetivos de la vida y la protección de los bienes. Se aplicó el modelo de costo más el cambio de valor neto (C+NVC) a un paisaje sintético, representativo del bosque Jarrah del norte al sudoeste de Australia Occidental. El nivel más eficiente económicamente de la quema prescrita corresponde a una estrategia en la que 5% del paisaje simulado es quemado de manera prescrita por año. Nuestros resultados son sensibles a los cambios en el costo promedio por hectárea de la quema prescrita, las probabilidades de ocurrencia de incendios, los valores de la zona urbana (en dólares promedio por hectárea) y los costos de supresión.

Palabras clave: análisis económico, costo más el cambio de valor neto, incendios forestales, manejo de incendios.

Introducción

Los incendios forestales pueden causar un daño significativo a los ecosistemas, la vida y los bienes; en muchas partes del mundo la frecuencia de los incendios grandes

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, 5-11 de noviembre de 2012, Ciudad de México, México.

² Candidata Doctoral, School of Agricultural and Resource Economics, The University of Western Australia, Crawley, Australia (email: veronique.florec@uwa.edu.au)

³ Winthrop Professor, School of Agricultural and Resource Economics, Director, Centre for Environmental Economics and Policy, The University of Western Australia, Crawley, Australia.

⁴ Profesor, School of Agricultural and Resource Economics, The University of Western Australia, Crawley, Australia.

⁵ Investigador Post-doctoral, School of Computer Science and Software Engineering, The University of Western Australia, Crawley, Australia.

⁶ Investigador Post-doctoral, School of Computer Science and Software Engineering, The University of Western Australia, Crawley, Australia.

⁷ Profesor Winthrop, School of Computer Science and Software Engineering, The University of Western Australia, Crawley, Australia.

y catastróficos, a menudo referido como los mega incendios, parece haber aumentado (Morgan 2009; Williams *et al* 2011). En Australia, Estados Unidos, Canadá, Rusia, China, Sudáfrica y España, entre otros han ocurrido incendios forestales catastróficos. El incendio conocido como *Black Saturday* ocurrido en Victoria, Australia el 7 de febrero de 2009 fue un el evento con mayor pérdida de vidas y bienes en la historia de Australia, a causa de un incendio forestal (Teague y otros 2010), provocando la muerte de 173 personas y la destrucción en general de bienes e infraestructura. Desde 1998, nueve estados en los EE.UU. han sufrido sus peores incendios en la historia (Williams y otros 2011). A pesar de que estos incendios son generalmente poco frecuentes, causan impactos sociales, económicos y ambientales profundos y de larga duración en el sitio donde ocurren (Handmer y Proudley 2008).

El desarrollo urbano en las zonas propensas a los incendios ha amplificado la complejidad del problema. Los incendios forestales que no involucran ni a personas y ni a bienes son cada vez más raros (Mutch y otros 2011). En Australia, el número de viviendas e infraestructuras ubicadas dentro o cerca de las zonas de alto riesgo de incendio sigue aumentando (Morgan y otros 2007) y en otros lugares (EE. UU., Canadá, Europa, entre otros, vease Smalley 2003, Mozumder y otros 2009, Mell y otros 2010, Stockmann y otros 2010, Mutch y otros 2011), aumenta el riesgo de incendios forestales sobre la vida y los bienes.

En vista de la creciente amenaza de los incendios forestales, las agencias de incendios a menudo han respondido con mayor capacidad de supresión, involucrando el aumento de los costos de supresión. Sin embargo, esto no ha resuelto el problema de los incendios forestales catastróficos (Williams y otros 2011). En Australia, los gastos de supresión han seguido una tendencia creciente y el país "actualmente corre el riesgo de gastar cantidades de dinero cada vez mayores en la supresión de incendios forestales, mientras que se obtiene menos exitoso en la gestión de los incendios en el paisaje en donde actualmente ocurre el incendio." (Morgan y otros 2007, p. 1). Otros países con paisajes propensos a los incendios parecen enfrentarse a problemas similares. En los EE.UU. los gastos anuales de supresión se han incrementado notablemente en los últimos años, mientras que la parte occidental del país se ha visto gravemente afectada por incendios forestales grandes e intensos desde la década de 1980 (Calkin y otros 2005).

La economía puede proporcionar una mejor comprensión y evaluaciones exhaustivas de los costos y beneficios de los incendios forestales, con el fin de diseñar la mitigación de los incendios forestales y los programas de gestión que de manera óptima asignan los recursos y el conocimiento expreso, evidencia que se basa en los juicios acerca de las compensaciones entre las opciones disponibles (Handmer y Proudley 2008). Sin embargo, el uso de la economía en la literatura de los incendios forestales es todavía relativamente limitado. A pesar de la abundancia de

los estudios teóricos sobre el tema, los análisis económicos empíricos del manejo de incendios forestales son escasos (Mercer y otros 2007).

En este trabajo se aplicará el modelo de costo más el cambio de valor neto (C + NVC) a un paisaje sintético, representativo del bosque Jarrah del norte al sudoeste de Australia Occidental (AC). El objetivo del estudio es determinar la estrategia de presupresión más eficiente económicamente para el paisaje sintético y evaluar los parámetros que afectan significativamente a los resultados. Nos centramos en la quema prescrita como la principal estrategia de presupresión. El objetivo principal de este modelo es proporcionar resultados preliminares que pueden informar sobre el desarrollo de un modelo más completo sobre la base de las áreas reales de AC.

Métodos

Se simularon incendios forestales en un paisaje sintético bajo diferentes condiciones climáticas y distintas estrategias de quema prescrita (presupresión) utilizando el simulador de incendios forestales AUSTRALIS, el cual fue desarrollado en la Facultad de Ciencias de la Computación e Ingeniería de Software de la Universidad de Western Australia (véase Johnston y otros 2008 para una descripción del simulador de incendios). El paisaje sintético generado por las simulaciones es un paisaje cuadrado de 100.000 ha, que contiene un terreno plano con combustible homogéneo del bosque Jarrah del norte.

Se evaluaron tres estrategias de quema prescrita, cada una con tres tamaños de parcela. Las estrategias involucraron la quema prescrita de 5, 10 o 20 % de la superficie total por año, lo que corresponde a los ciclos de rotación de 20, 10 y 5 años, respectivamente. El paisaje se dividió en parcelas cuadradas de 50, 500 y 4000 ha, y cada estrategia pudo llevarse a cabo en parcelas quemadas de estos tamaños. La edad del combustible en cada parcela fue un valor entero aleatorio a partir de $[0, n]$, donde $n = 5, 10$ o 20 , dependiendo de la estrategia de quema. Además de estas 9 combinaciones ($3 \text{ estrategias} \times 3 \text{ tamaños de parcelas} = 9$), se definió una estrategia de base de comparación en el que se fijó la edad del combustible de manera uniforme a los 15 años en toda la zona de tratamiento y se utilizó esta línea de base como el caso sin estrategia o la quema prescrita de 0%. Cada combinación de tamaño de parcela y estrategia fue simulada en condiciones de peligro de incendios forestales (CPIF) altas, muy altas y catastrófica, dando $(9 + 1) \times 4 = 40$ escenarios. Por último, cada escenario fue evaluado bajo 30 igniciones al azar, lo que hace un total de $30 \times 40 = 1200$ simulaciones.

Se utilizó la ecuación “McArthur Mk V” forest fire meter (Noble y otros 1980, Sirakoff 1985) para determinar la velocidad de propagación. La carga de combustible se determinó utilizando la tabla de acumulación de combustible para el bosque Jarrah

en Sneeuwjagt y Peet (1998), la cual da la carga de combustible como una función de la edad de combustible. Los puntos de ignición de incendios fueron generados de acuerdo a la distribución uniforme aleatoria. El clima fue constante durante la simulación. No se modelaron los efectos de producción de los focos secundarios. El Cuadro 1 resume los valores del simulador. Si la intensidad del fuego está por debajo de un umbral de 2.000 kW/m, entonces se supone que el fuego se suprime.

Se empleó el modelo C+NVC, que es actualmente el modelo más aceptado para la evaluación económica de los programas de manejo de incendios forestales (Ganewatta 2008, Gebert y otros 2008). A partir de Donovan y Rideout (2003), el modelo C + NVC se puede expresar como:

$$\text{Min } C + NVC = W^P P + W^S S(P) + NVC(P, S(P)) \quad (1)$$

en donde W^P es el precio de la presupresión; P es el esfuerzo de la presupresión; W^S es el precio de la supresión; S es el esfuerzo de la supresión, que es dependiente de la presupresión; y NVC es el daño del incendio neto (daño del incendio menos beneficio del incendio).

En nuestro modelo, asumimos una relación negativa entre el esfuerzo de la quema prescrita (área anual quemada de manera prescrita como parte de todo el paisaje) y los costos de supresión. Generalmente se espera que la quema prescrita mejore directamente la probabilidad de éxito de la supresión (Fernandes y Botelho 2003) ya que la quema prescrita disminuye la intensidad con la que los incendios forestales ocurren. Los resultados preliminares tanto de los estudios empíricos como del modelado sugieren que la relación entre el porcentaje de paisaje quemado de manera prescrita y la probabilidad de un incendio de alta intensidad imprevisto en un punto, puede ser representado por un modelo multiplicativo complejo con una forma convexa (Cary y otros 2003). Por lo tanto, conforme la intensidad de los incendios aumenta, la supresión se hace más difícil y más costosa (Chatto y Tolhurst 2004), ya que los recursos más caros, tales como los aviones cisterna son necesarios cuando los métodos directos de ataque ya no puede ser utilizados.

La relación funcional entre el esfuerzo de quema prescrita y los costos de supresión se expresa como $s = ke^{-ax}$, donde s es el gasto de supresión; x es la proporción de área quemada de manera prescrita; k representa el gasto máximo de supresión y a es un coeficiente de la eficacia de la quema prescrita, que afecta el beneficio marginal de cada una de las hectáreas adicionales quemadas de manera prescrita en el paisaje. *Ceteris paribus*, entre más alto sea el coeficiente a , más bajo el gasto de supresión para una determinada proporción de superficie quemada de manera prescrita.

Cuadro 1—Resumen de los valores del simulador para los experimentos de la quema prescrita

	Valor				
Parámetros del escenario					
Tamaño de parcelas	50, 500, 4000 ha				
Ciclos de rotación	5, 10, 20 y				
Condiciones climáticas	Altas, muy altas, extremas y catastróficas				
Puntos de ignición	Colocados uniformemente al azar por todo el paisaje				
Condiciones climáticas	Temperatura (°Celsius)	Humedad Relativa (%)	Dirección del viento	Velocidad del viento (km/h)	Factor de sequía
Altas	30	25	Norte	30	5
Muy altas	35	20	Norte	30	7
Extremas	35	10	Norte	30	9
Catastróficas	40	10	Norte	50	10
Combustible					
Velocidad del mecanismo de propagación	McArthur Mk V, Forest (Sneeuwjagt y Peet 1998)				
Reglas de acumulación del combustible	Combustible del Jarah del norte				
Cubierta del dosel	60%				
Topografía	Plano				
Celda cuadrícula					
Espacio de la celda	50 m				
Celda vecina	Celdas hasta con 6 enlaces son consideradas adyacentes				
Configuración del simulador					
Velocidad lateral de propagación	Velocidad de propagación a velocidad cero.				
Máxima duración de tiempo simulado	36 h				

Ya que se simularon los incendios bajo condiciones climáticas diferentes, las cuales tienen distintas probabilidades de ocurrencia, se multiplicaron los resultados de los incendios por sus probabilidades de ocurrencia y se asumió que en condiciones climáticas bajas y moderadas, los incendios se suprimirían de forma relativamente rápida y sólo tendrían un efecto mínimo en los resultados. En el Cuadro 2 se muestran las probabilidades que fueron utilizadas para la ocurrencia de incendios.

Cuadro 2—Probabilidades de ocurrencia de incendios

<i>Categoría de incendios</i>	<i>Probabilidad de ocurrencia de incidente por año</i>
Catastrófico	0.0001770
Extremo	0.0002360
Muy alto	0.0007080
Alto	0.0475789

Con el fin de acercarse a la evaluación de un escenario de interfase urbano rural, se asume en el análisis que un pequeño pueblo de 1.500 hectáreas se encuentra dentro del paisaje sintético. Por lo tanto, se incluyeron los valores de las estructuras urbanas, la infraestructura pública, el humo y los costos de salud relacionados con el incendio (incendio forestal o prescrito). A pesar de la poca literatura económica sobre los impactos en la salud humana al ser expuesto al humo de los incendios forestales o las quemaduras prescritas, y las grandes diferencias en las estimaciones entre los estudios disponibles, el omitir los impactos sobre la salud en las evaluaciones económicas de los programas de manejo de incendios podría resultar en una falta de inversión en las actividades de pre-supresión (Richardson y otros 2012).

En nuestro análisis, no se ha representado el número de días de exposición al humo causado por los incendios forestales, pero la intensidad y la superficie quemada fue vinculada a los costos de salud. Se asumió una relación exponencial entre la superficie quemada por los incendios forestales y los costos de salud, que cambia con el nivel de intensidad. Conforme aumenta la intensidad y la superficie quemada por los incendios forestales, la quema de combustible y las emisiones de la quema de biomasa (como las partículas con un diámetro aerodinámico inferior a $2.5 \mu\text{m}$, $\text{PM}_{2.5}$) se intensifican, y en última instancia, a medida que se vuelven mayores, los incendios forestales pueden causar serios daños y muertes. Por lo tanto, se utiliza una relación exponencial que aumenta a medida que la superficie quemada y la intensidad de los incendios forestales se vuelven extremas. La relación se puede expresar como $h = be^{c\omega}$, donde h representa los costos de salud por persona en una situación de riesgo; ω es el tamaño de los incendios simulados (área quemada); b es un coeficiente que integra los efectos de la intensidad en los costos de salud y a es un coeficiente que refleja el impacto de la superficie quemada en los costos de salud per cápita, ambos coeficientes determinan el costo marginal de cada hectárea adicional quemada por los incendios forestales en un nivel determinado de intensidad en el paisaje.

Algunos incendios, sin embargo, pueden ser relativamente pequeños y aun así causan un aumento en los niveles de concentración $\text{PM}_{2.5}$ en un poblado vecino. Entonces, tenemos que asumir que una columna de humo de forma rectangular es liberada por el incendio y tiene una probabilidad de llegar al poblado $P(m, A) = m(\omega)/A$, con m el tamaño de la columna de humo, que depende del tamaño de los incendios; y A el tamaño de todo el paisaje.

Resultados y Discusión

Nuestros resultados indican que el nivel más eficiente de la quema prescrita corresponde a una estrategia donde 5 % del paisaje simulado es quemado de manera

prescrita por año. Con nuestros costos asumidos de la quema prescrita (\$/ha), esto es el equivale a una inversión anual en la quema prescrita de aproximadamente AU\$405,000 en un área de 100,000 ha. El mínimo de la curva C+NVC equivale a alrededor de \$785,000 dólares australianos. En la Figura 1 se muestran las curvas obtenidas a partir del modelo C+NVC.

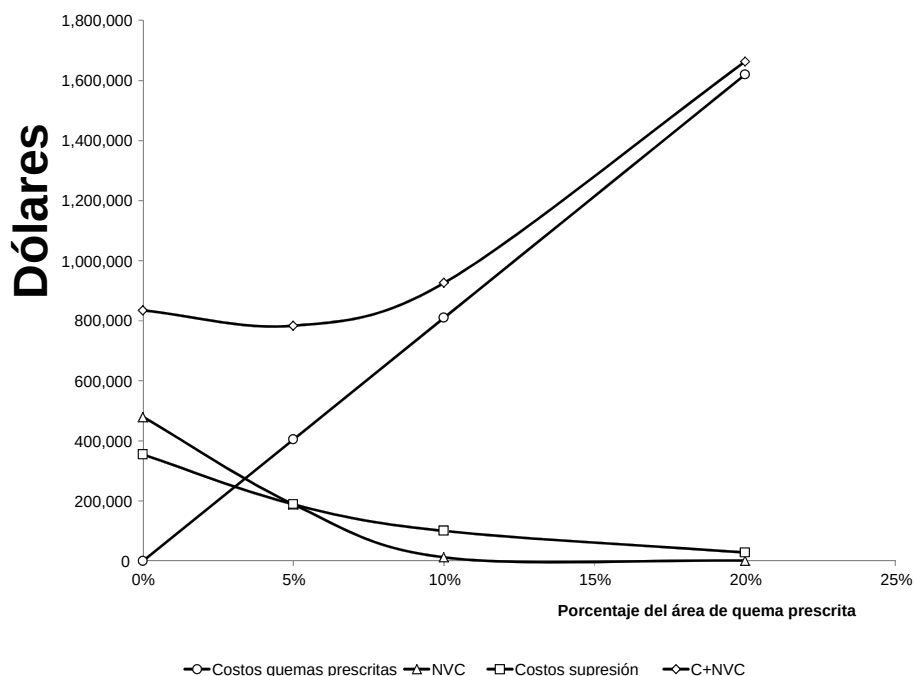


Figura 1—Curva de costo más el cambio neto del valor (C+NVC)

Se realizó un análisis de sensibilidad para evaluar la solidez de los resultados y determinar qué valores de los parámetros afectan más a los resultados. En la Figura 2 se muestra el cambio en el mínimo de la curva de costos más el cambio de valor neto en dólares, cuando algunos valores de los parámetros son reducidos en un 50% o se incrementan en un 50%. Los parámetros mostrados son aquellos a los que los resultados son más sensibles. Como se muestra en la Figura 2, un cambio en los costos de la quema prescrita (en dólares promedio por hectárea) afecta en gran medida a los resultados.

A medida que los costos de la quema prescrita aumentan, se convierten rápidamente en una gran proporción de la curva C + NVC. Si cambia la pendiente de los costos de la quema prescrita, en consecuencia, cambia el punto donde se igualan los costos marginales con los beneficios marginales. Si el costo promedio por hectárea para la quema prescrita es muy alto, entonces el mínimo de la curva C +

NVC corresponde a una estrategia de área quemada de manera prescrita de 0%. Este caso se ilustra en la Figura 3. El mínimo valor de la curva C+NVC es entonces la suma de los costos de supresión y los daños para la estrategia 0%.

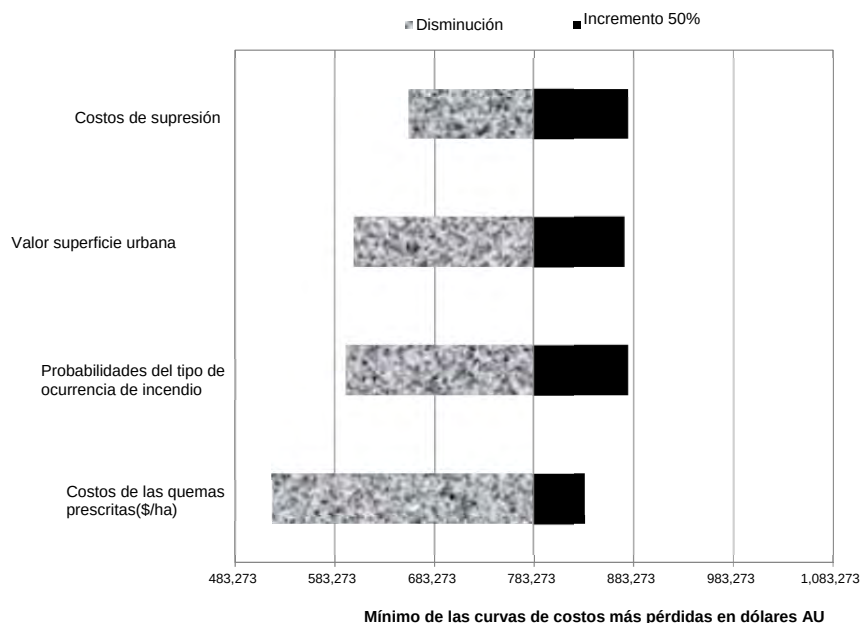


Figura 2—Cambio en el mínimo de la curva de costos más el cambio de valor neto con un aumento y una disminución del 50 % en el valor de los parámetros seleccionados.

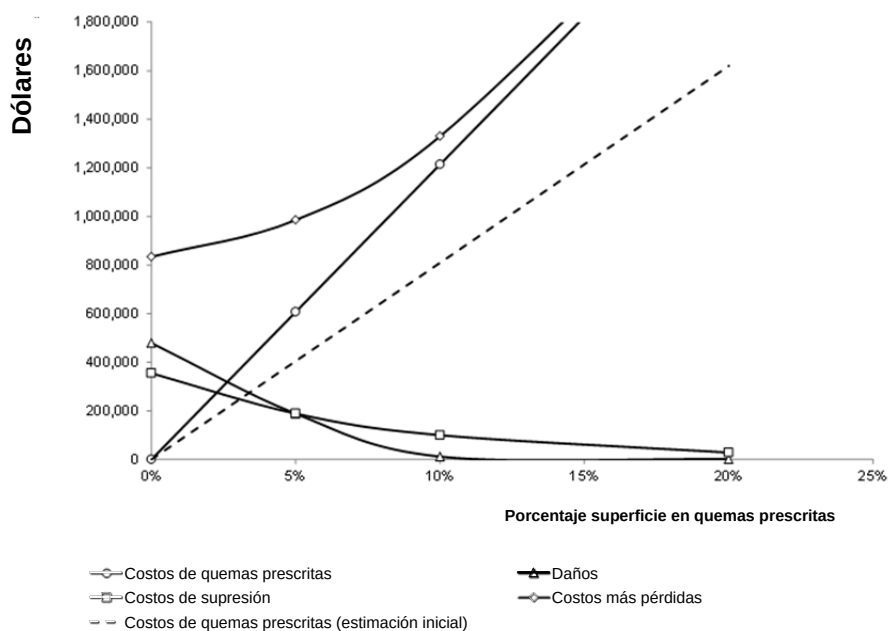


Figura 3—Incremento del 50 % en los costos promedio de la quema prescrita por hectárea

Cuando el costo promedio de la quema prescrita por hectárea se reduce en un 50%, el valor mínimo de la curva C + NVC disminuye en un 34% (Figura 2) y la estrategia más eficaz es entre 5 y 10% del área quemada de manera prescrita por año (Figura 4). Comparando las tres figuras de la curva C + NVC, se puede observar que en nuestra estimación inicial (Figura 1) existe una amplia gama de niveles de quemas prescritas que es casi optima, pero este no es el caso cuando se modifica el costo de la quema prescrita (Figura 3 y Figura 4).

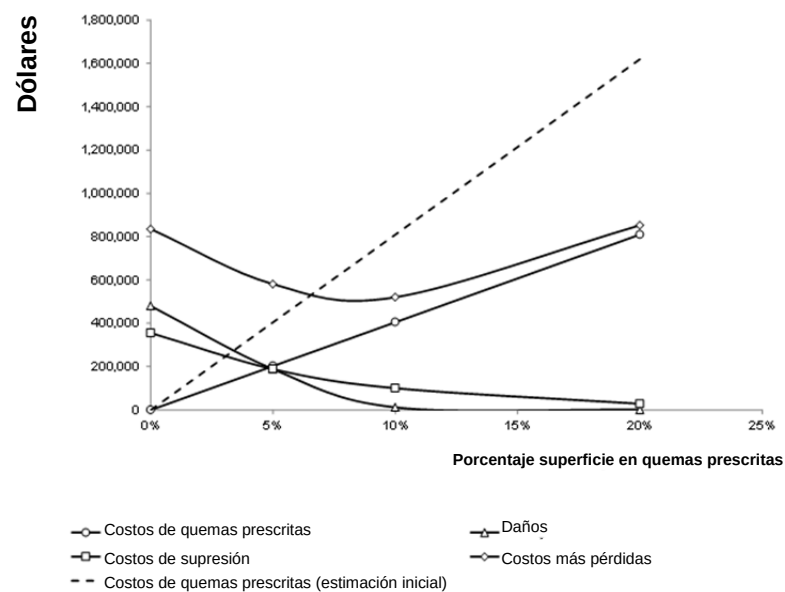


Figura 4—Disminución del 50% en el costo de la quema prescrita por hectárea

Nuestros resultados también son sensibles a los cambios en las probabilidades de ocurrencia de incendios, los valores urbanos de la zona (en dólares promedio por hectárea) y los costes de supresión. En el Cuadro 3 se observa cómo cambian las estrategias más eficientes de quema prescrita, cuando se aumenta o reduce el valor de los parámetros seleccionados descritos anteriormente.

Cuadro 3—Cambio en la estrategia de quema prescrita más eficiente

Estrategia de quema prescrita más eficiente (% de paisaje quemado de manera prescrita)			
	Estimación inicial	Reducción del 50%	Incremento del 50%
Costo de la quema prescrita (\$/ha)	5%	>5% y <10%	0%
Tipo de probabilidades de ocurrencia de incendios	5%	0%	>5% y <10%
Valor del área urbana (\$/ha)	5%	0%	>5% y <10%
Costos de supresión	5%	0%	>5% y <10%

Esto resume los principales desafíos que enfrentan las agencias de incendios en el desarrollo de prácticas sostenibles de manejo de incendios: cambio climático, interfase urbano rural y eficacia de la supresión. En el contexto del cambio climático, todavía existen numerosas incertidumbres sobre el comportamiento de los incendios forestales en condiciones climáticas adversas y la sostenibilidad de las distintas prácticas de manejo de incendios (Thornton 2010). Con la expansión de la interfase urbano rural es más difícil de alcanzar los objetivos de la vida y la protección de los bienes. Smalley (2003) identifica la expansión de la interfase urbano-rural como "uno de los tres factores principales que propagará las presiones de la interfase en las comunidades. Los otros dos son fenómenos climatológicos excepcionalmente graves (desde sequía prolongada hasta periodos de calentamiento severo e inundaciones que erosionen los suelos y la vegetación) y una infraestructura inadecuada debido a la rapidez de crecimiento o envejecimiento." (pág. 5)

El tamaño de la parcela de las quemas prescritas no mostró ningún efecto significativo en los resultados del análisis. Las medidas de severidad obtenidas en los incendios simulados no fueron significativamente afectadas por los cambios en el tamaño de la parcela (lo cual es consistente con estudios anteriores que utilizan la simulación para examinar la eficacia de la quema prescrita, por ejemplo, Finney y otros 2007; King y otros 2008) y por lo tanto no se tuvo un impacto significativo en el análisis económico.

Aunque el modelo C + NVC ha sido ampliamente utilizado para evaluar las inversiones anuales en la prevención y protección de incendios, éste ha sufrido ciertos cambios en las últimas dos décadas. Rideout y sus colaboradores (Rideout y Omi 1990; Donovan y otros 1999; Hesseln y Rideout 1999; Donovan y Rideout 2003; Rideout y Ziesler 2008) identificaron tres errores inherentes en el modelo, que se han perpetuado desde el modelo earlier least cost plus loss por Sparhawk (1925). El primero error es que los gastos de supresión se determinan únicamente como una función de la ocurrencia de incendios. Donovan y Rideout (2003) sostuvieron que tanto la presupresión como la supresión deben ser modeladas como variables de decisión endógenas, con los beneficios de la supresión en función del nivel de presupresión. Como se aplica comúnmente, el mínimo C + NVC puede diferir de lo obtenido cuando la presupresión y la supresión se modelan correctamente.

El segundo error es que los gastos de supresión y presupresión están modelados de manera incorrecta y correlacionados negativamente (Donovan y Rideout 2003; Rideout y Ziesler 2008). Y el tercer error fue que mediante el análisis de una sola temporada de incendios, se pasaron por alto los efectos a largo plazo de los procesos naturales de acumulación de combustible, los incendios no planificados, los tratamientos de combustible y las estrategias de manejo del suelo sobre el riesgo de incendio forestal (Hesseln y Rideout, 1999). Las cicatrices de los incendios causadas

por tratamientos de reducción de combustibles o por incendios no planificados, afectan el comportamiento del incendio y la intensidad durante más de un año. Del mismo modo, los combustibles naturales se acumulan con el tiempo y si se dejan sin perturbaciones, gradualmente aumentan el riesgo de los incendios catastróficos, año con año. A pesar de las limitaciones mencionadas anteriormente, la aplicación del modelo C + NVC, en su formulación actual, puede ayudar a los gestores de incendios a identificar posibles beneficios y costos de las distintas opciones de manejo de los incendios para un año determinado, incluso si no se obtiene un mínimo global (Rodríguez y Silva y González-Cabán 2010). Somos conscientes de las limitaciones del modelo y sus implicaciones, y esperamos abordar estos puntos en trabajos futuros. El modelo C + NVC ha sido utilizado aquí como un primer paso hacia un análisis más exhaustivo.

Sumario

Se utilizó el modelo de costo más cambio de valor neto (C + NVC) en un paisaje sintético de 100.000 ha, representativo del bosque Jarrah del norte al sudoeste de Australia Occidental. Se empleo el Simulador de incendios forestales AUSTRALIS para simular incendios forestales en este paisaje bajo distintas condiciones climáticas. Se evaluaron tres estrategias distintas de quemas prescritas (presupresión) y una opción de no estrategia. Se observa que el nivel más eficiente económicamente de la quema prescrita pertenece a la estrategia en la que 5% del paisaje simulado es quemado de manera prescrita por año en una superficie de 100.000 ha. Nuestros resultados son sensibles a los cambios en el costo promedio por hectárea de quema prescrita, las probabilidades de ocurrencia de incendios, los valores de la zona urbana (en dólares promedio por hectárea) y los costos de supresión.

Agradecimientos

Agradecemos a Neil Burrows del Departamento de Ambiente y Conservación de Western Australia por sus valiosas contribuciones. De igual manera, se agradece al Centro de Investigación Cooperativa contra Incendios Forestales de Australia por el financiamiento

Referencias

- Butry, D, Mercer, DE, Prestemon, JP, Pye, JM, Holmes, TP. 2001. What is the price of catastrophic wildfire? *Journal of Forestry* **99**, 9.
- Calkin, DE, Gebert, KM, Jones, G, Neilson, RP. 2005. Forest service large fire area burned and suppression expenditure trends, 1970-2002. *Journal of Forestry* **103**, 179-183.

- Cary, G, Lindenmayer, D, Dovers, S.** (Eds) 2003. 'Australia Burning: Fire Ecology, Policy and Management Issues.' (CSIRO Publishing: Collingwood, VIC)
- Chatto, K, Tolhurst, KG.** 2004. A Review of the Relationship between Fireline Intensity and the Ecological and Economic Effects of Fire, and Methods Currently Used to Collect Fire Data. Report commissioned by Fire Management, Department of Sustainability and Environment, Victoria Available at <http://www.dse.vic.gov.au/fire-and-other-emergencies/living-with-fire-victorias-bushfire-strategy/fire-research-reports/research-report-67>.
- Donovan, GH, Rideout, DB.** 2003. A reformulation of the cost plus net value change (C+NVC) model of wildfire economics. *Forest Science* **49**, 318-323.
- Donovan, GH, Rideout, DB, Omi, PN.** 1999. 'The economic efficiency of the National Fire Management Analysis System and FIREPRO, Proceedings of Symposium on Fire Economics, Planning and Policy: Bottom Lines.' Available at <Go to ISI>://WOS:000167781700012
- Fernandes, PM, Botelho, HS.** 2003. A review of prescribed burning effectiveness in fire hazard reduction. *International Journal of Wildland Fire* **12**, 117-128.
- Finney, MA, Seli, RC, McHugh, CW, Ager, AA, Bahro, B, Agee, JK.** 2007. Simulation of long-term landscape-level fuel treatment effects on large wildfires. *International Journal of Wildland Fire* **16**, 712-727.
- Ganewatta, G.** 2008. The economics of bushfire management. In 'Community Bushfire Safety.' (Eds J Handmer, K Haynes.) pp. 151-159. (CSIRO Publishing: Collingwood, VIC)
- Gebert, K, Calkin, DE, Huggett, RJ, Abt, K.** 2008. Toward a unified economic theory of fire program analysis with strategies for empirical modelling. In 'The Economics of Forest Disturbances: Wildfires, Storms and Invasive Species.' (Eds TP Holmes, JP Prestemon, K Abt.) pp. 295-322. (Springer: Dordrecht, The Netherlands)
- Handmer, J, Proudley, B.** 2008. The economics of interface wildfires. In 'Gonzalez-Caban, A. (technical coordinator) 'Proceedings of the second international symposium on fire economics, planning, and policy: a global view'. Cordoba, Spain', 19-22 April 2004. (General Technical Report PSW-GTR-208, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. Available at http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr208en/psw_gtr208en_fm.pdf
- Hesseln, H, Rideout, DB.** 1999. 'Using control theory to model the long-term economic effects of wildfire, Proceedings of Symposium on Fire Economics, Planning and Policy: Bottom Lines.' Available at <Go to ISI>://WOS:000167781700013
- Johnston, P, Kelso, J, Milne, GJ.** 2008. Efficient simulation of wildfire spread on an irregular grid. *International Journal of Wildland Fire* **17**, 614-627.
- King, KJ, Bradstock, RA, Cary, GJ, Chapman, J, Marsden-Smedley, JB.** 2008. The relative importance of fine-scale fuel mosaics on reducing fire risk in south-west Tasmania, Australia. *International Journal of Wildland Fire* **17**, 421-430.
- Kochi, I, Donovan, GH, Champ, PA, Loomis, JB.** 2010. The economic cost of adverse health effects from wildfire-smoke exposure: a review. *International Journal of Wildland Fire* **19**, 803-817.
- Martin, WE, Brajer, V, Zeller, K.** 2007. Valuing the health effects of a prescribed fire. In 'Wildfire Risk: Human Perceptions and Management Implications.' (Eds WE Martin, C Raish, BJ Kenny.) pp. 244-261. (Resources for the Future: Washington, DC, USA)

- Mell, WE, Manzello, SL, Maranghides, A, Butry, D, Rehm, RG.** 2010. The wildland–urban interface fire problem – current approaches and research needs. *International Journal of Wildland Fire* **19**, 238–251.
- Mercer, DE, Prestemon, JP, Butry, DT, Pye, JM.** 2007. Evaluating alternative prescribed burning policies to reduce net economic damages from wildfire. *American Journal of Agricultural Economics* **89**, 63-77.
- Morgan, G.** 2009. Asia and Australasia wildfire management: a regional perspective. In 'Gonzalez-Caban, A. (Technical Coordinator) Proceedings of the third international symposium on fire economics, planning, and policy: common problems and approaches. Carolina, Puerto Rico', 29 April - 2 May 2008. pp. 8-23. (General Technical Report PSW-GTR-227, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. Available at http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr227en/psw_gtr227_en.pdf)
- Morgan, G, Bartlett, T, Leonard, M.** 2007. Fire management and the bush – from an ad hoc seasonal pre-occupation to 'policy centre-stage'. In 'Tassie Fire Conference Proceedings. Hobart, Tasmania', 18 - 20 July 2007. Available at http://proceedings.com.au/tassiefire/papers_pdf/thurs_gmorgan.pdf
- Mozumder, P, Helton, R, Berrens, RP.** 2009. Provision of a wildfire risk map: informing residents in the wildland–urban interface. *Risk Analysis* **29**, 1588-1600.
- Mutch, RW, Rogers, MJ, Stephens, SL, Gill, MA.** 2011. Protecting lives and property in the wildland–urban interface: communities in Montana and southern California adopt Australian paradigm. *Fire Technology* **47**, 357-377.
- Noble, IR, Gill, AM, Bary, GAV.** 1980. McArthur's fire-danger meters expressed as equations. *Austral Ecology* **5**, 201-203.
- Richardson, LA, Champ, PA, Loomis, JB.** 2012. The hidden cost of wildfires: Economic valuation of health effects of wildfire smoke exposure in southern California. *Journal of Forest Economics* **18**, 14-35.
- Rideout, DB, Omi, PN.** 1990. Alternate expressions for the economic theory of forest fire management. *Forest Science* **36**, 614-624.
- Rideout, DB, Ziesler, PS. A Gonzalez-Caban (Ed.)** 2008. 'Three Great Myths of Wildland Fire Management, Proceedings of the second international symposium on fire economics, planning, and policy: a global view.' Albany, CA, USA, 19-22 April 2004. (U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, General Technical Report PSW-GTR-208. Available at http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr208en/psw_gtr208en_319-326 Rideout.pdf)
- Rittmaster, R, Adamowicz, WL, Amiro, B, Pelletier, RT.** 2006. Economic analysis of health effects from forest fires. *Canadian Journal of Forest Research* **36**, 868-877.
- Rodriguez y Silva, F, Gonzalez-Caban, 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.
- Sirakoff, C.** 1985. A correction to the equations describing the McArthur forest fire danger meter. *Austral Ecology* **10**, 481-481.
- Smalley, J.** 2003. Firewise communities: Recasting the future of the wildland-urban interface. In 'Paper presented at the 3rd International Wildland Fire Conference and Exhibition, Sydney. Available at <http://www.fire.uni-freiburg.de/summit-2003/3-IWFC/Papers/3-IWFC-017-Smalley.pdf>
- Sneeuwjagt, RJ, Peet, GB.** 1998. 'Forest Fire Behaviour Tables for Western Australia.' (Department of Conservation and Land Management, Perth, Western Australia:

- Sparhawk, WN.** 1925. The use of liability ratings in planning forest fire protection. *Journal of Agricultural Research* **30**, 693-762.
- Stockmann, KD, Burchfield, J, Calkin, DE, Venn, TJ.** 2010. Guiding preventative wildland fire mitigation policy and decisions with an economic modeling system. *Forest Policy and Economics* **12**, 147-154.
- Teague, B, Mcleod, R, Pascoe, S.** 2010. The 2009 Victoria Bushfires Royal Commission Final Report. Government Printer for the State of Victoria, Melbourne, VIC. Available at <http://www.royalcommission.vic.gov.au/Commission-Reports/Final-Report>.
- Thornton, R.** 2010. Research Programs: An Overview. Bushfire CRC, Melbourne, VIC. Available at http://www.bushfirecrc.com/sites/default/files/1009_researchlist_lowres.pdf.
- Williams, J, Albright, D, Hoffmann, AA, Eritsov, A, Moore, PF, Mendes De Morais, JC, Leonard, M, San Miguel-Ayanz, J, Xanthopoulos, G, van Lierop, P.** 2011. Findings and implications from a coarse-scale global assessment of recent selected mega-fires. In 'FAO at the Vth International Wildland Fire Conference. Sun City, South Africa', 9-13 May 2011. pp. 27-40. (Forestry Department, Fire Management Division Working Paper FM/27/E, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at <http://www.fao.org/docrep/014/am663e/am663e00.pdf>

¿Influye la Experiencia Personal en las Preferencias Basadas en la Elección de los Programas de Protección Contra Incendios Forestales?^{1,2}

Armando González-Cabán³, Thomas P. Holmes⁴, John B. Loomis⁵, y José J. Sánchez³

Resumen

En este trabajo se investigan las preferencias de los propietarios de las viviendas y la disposición a pagar por programas de protección contra incendios forestales mediante un experimento de elección con tres atributos: riesgo, pérdida y costo. Se realizó una encuesta por teléfono-correo electrónico-teléfono para coleccionar la información de los propietarios de las viviendas, que principalmente vivían en comunidades con riesgo medio y alto de incendios forestales en Florida. Se comprobaron tres hipótesis: (1) las preferencias de los propietarios por los programas de prevención de incendios forestales son la aversión al riesgo, (2) la experiencia personal con los incendios forestales aumenta la disposición de los propietarios a pagar por programas de protección, y (3) la percepción subjetiva del riesgo influye en la disposición a pagar por programas de protección. Se evaluó la heterogeneidad de preferencia entre encuestados utilizando dos modelos econométricos y las preferencias de riesgo, al comparar la disposición a pagar por programas de protección de incendios forestales con las pérdidas monetarias esperadas. Los resultados muestran que casi todos los encuestados tuvieron preferencias donde se busca el riesgo. Solo los encuestados, que contaban con experiencia personal con los impactos de los incendios forestales constantemente realizaban compensaciones entre riesgo, pérdida y costo; estas personas estaban dispuestas a pagar más por programas de protección de incendios forestales, que aquellos encuestados sin previa experiencia personal con los impactos de los incendios forestales. Los encuestados que habitan en vecindarios, que consideran como sitios de alto riesgo de incendios forestales, también están dispuestos a pagar más en comparación con otros encuestados.

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales, 5-11 de noviembre de 2013; Ciudad de México, México.

² Número de control de OMB 0596-0189.

³ Economista Investigador y Economista, respectivamente, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, Riverside, CA; Email: agonzalezcaban@fs.fed.us; jsanchez@fs.fed.us.

⁴ Forestal Investigador, Southern Research Station, USDA Forest Service, Research Triangle Park, NC; Email: tholmes@fs.fed.us.

⁵ Profesor, Department of Agricultural and Resource Economics, Colorado State University, Fort Collins, CO; Email: jloomis@lamar.colostate.edu.

Palabras clave: aversión al riesgo, desastres naturales, en busca del riesgo, heurístico, teoría de las perspectivas, utilidad esperada.

Introducción

Los incendios forestales representan un riesgo de pérdida de vidas y bienes para la gente que vive en áreas naturales propensas a incendios. La creciente frecuencia y severidad de los incendios forestales en las áreas residenciales forestales de los Estados Unidos, ha provocado que los gestores de los incendios y los encargados de las políticas, enfatizan el papel de los propietarios de las viviendas y las actividades de mitigación en la comunidad, para reducir los peligros relacionados con los incendios forestales (Plan Nacional contra Incendios 2001).

Sin embargo, es poco lo que se conoce sobre la eficacia de estos enfoques o los factores que influyen el grado en que los propietarios de las viviendas y las comunidades están dispuestos a invertir tiempo, esfuerzo y dinero en la mitigación de desastres (Holmes y otros 2007). El comprender los factores que influyen las decisiones de invertir y cuanto invertir en actividades de mitigación de los peligros provocados por los incendios forestales, ayudaría a identificar los obstáculos para la implementación de políticas y programas de mitigación de incendios efectivos y eficaces. En este artículo se realiza esto por medio de una encuesta, de acuerdo a la disposición a pagar (DAP) por programas de reducción de incendios públicos y privados.

Un enfoque popular para evaluar la DAP por programas ambientales, es el método de valoración contingente (MVC), el cual pide a las personas que respondan a preguntas sobre los pagos, con respecto a escenarios hipotéticos (Boyle 2003). Este método ha sido aplicado por Winter y Fried (2001) en Michigan a la DAP de los propietarios de viviendas para reducir el riesgo de incendios, y recientemente a propietarios de Talberth y otros (2006) de Nuevo México.

Loomis y otros (2009) utilizaron un formato de respuesta binominal, para preguntar a los encuestados si deberían o no votar a favor de los programas de reducción de combustible en sus estados, si les costara una cantidad específica de dinero⁶.

Un método alternativo para estimar la DAP por programas ambientales, se basa en un experimento de elección (EE), en donde se pide al encuestado que seleccione entre los programas alternativos, que varían en características de programa y precio (Holmes y Adamowicz 2003). Una ventaja del experimento de elección es que permite a los analistas evaluar la DAP por una amplia gama de niveles de atributos del programa, en un solo cuestionario. En este artículo, se utilizó un experimento de

⁶ Se prefiere este formato, en lugar del “abierto”, ya que representa mejor la toma de decisiones en mercados reales (Boyle 2003).

elección para estimar la DAP por programas de incendios forestales, que pudieran reducir tanto los riesgos de los incendios forestales como la posible pérdida de valor para los propietarios, debido a los daños provocados por los incendios forestales. Se evaluó la tolerancia de los encuestados, comparando los valores estimados con las predicciones de los modelos teóricos alternativos de la toma de decisiones bajo riesgo, así como otros estudios empíricos mencionados en la bibliografía.

Toma de decisiones bajo riesgo

Se encuentran disponibles varios modelos teóricos alternativos, que describen la toma de decisiones bajo las condiciones de riesgo, y el modelo económico estándar se basa en la teoría de la utilidad esperada (UE) (Shoemaker 1982). La teoría UE se basa en la proposición de que la gente tome sus decisiones para que la utilidad esperada se maximice; la utilidad esperada se calcula como la suma de la utilidad relacionada con cada posible resultado multiplicado por su probabilidad. Se asume que la función de la utilidad del individuo sea cóncava en la riqueza (incrementos a un ritmo decreciente conforme incrementan las riquezas) y, al momento de enfrentarse a las elecciones riesgosas, los tomadores de decisiones tienen aversión al riesgo con respecto a las pérdidas (Deaton y Muellbauer 1980). Dentro del contexto de los incendios forestales, el modelo UE predice que los propietarios estarán dispuestos a invertir en un número de programas de protección contra incendios forestales, que sobrepasa el valor actuarial de la pérdida potencial de la riqueza, debido a los daños causados por los incendios forestales.

Respondiendo a varias críticas de la teoría UE, una teoría alternativa de elección bajo riesgo, conocida como teoría de las perspectivas, ha adquirido popularidad (Kahneman y Tversky 1979). En contraste con la teoría UE, la función de valor propuesto por la teoría de las perspectivas pronostica que cuando se enfrenta con el riesgo de una pérdida de riqueza, la gente generalmente busca el riesgo. Por ello, cuando se considera cuanto se debe invertir en los programas de protección de los incendios forestales, esto reduce la pérdida esperada de los incendios forestales, la teoría de las perspectivas predice que la gente estará dispuesta a pagar menos que el valor actuarial de una pérdida potencial. Kahneman y Tversky (1979) comentan que este tipo de comportamiento se debe a que la gente sobrepesa cierta pérdida (el pago) relativa a la pérdida probable (el riesgo).

A pesar del riesgo anual de los incendios dañando y destruyendo un hogar, éste es en general muy bajo en zonas propensas a incendios, las consecuencias de los incendios forestales pueden ser muy graves para los propietarios de las viviendas. Se ha observado que las personas tienden a rechazar un seguro contra incendios, bajo condiciones con altas consecuencias de riesgo, a pesar del hecho de que el estándar de

la teoría económica sugiere que las personas adquirieran un seguro contra la baja probabilidad de una pérdida por catástrofe (Kunreuther y Slovic 1978). A diferencia de esta idea, se ha mostrado que bajo condiciones de bajo riesgo, la gente tiende a usar reglas con decisiones *ad hoc* o heurísticas, que simplifican la toma de decisiones (Camerer y Kunreuther 1989). Otro heurístico sobresaliente, que fue utilizado cuando se evaluaron las condiciones de consecuencias altas con bajo riesgo, es sobrestimar o exagerar el riesgo, particularmente si se pueden recordar eventos similares (Tversky y Kahneman 1973). Se ha observado, por ejemplo, que la experiencia personal con una catástrofe, hace que las personas sean más pesimistas en lo que concierne a los eventos futuros potencialmente catastróficos (Cohen y otros 2008).

Métodos empíricos

En este estudio, se diseñó un EE para estimar la disposición de los propietarios a pagar por programas que reducen los riesgos (probabilidades de daño) y pérdidas económicas. Al reconocer que las preferencias y las percepciones de riesgo pueden variar entre las personas, y que los propietarios pueden seleccionar entre una variedad de reglas de decisión al hacer elecciones con respecto a la mitigación de los incendios forestales, se estimaron y compararon tres tipos de modelos econométricos, que enfocan la atención en la heterogeneidad de preferencia. El modelo logit Multinomial estándar (MNL) permite analizar la heterogeneidad de preferencia, mediante la interacción de las características de los encuestados con los atributos del conjunto de elección alternativo. Sin embargo, MNL no puede obtener la heterogeneidad de preferencia *no observada* o manejar correlaciones inducidas por un panel de datos derivados de las respuestas múltiples provenientes de la misma persona. Por lo tanto, se especifican dos modelos adicionales que abordan estas limitaciones, logit de parámetro aleatorio (LPA) y el análisis de clases latentes (CL). En los tres modelos se comprobó la hipótesis de que las preferencias sobre los aspectos de reducción de la pérdida económica y el riesgo de los programas de mitigación de los incendios forestales reflejan, hasta cierto punto, la experiencia previa de los encuestados con los incendios forestales, así como su percepción subjetiva del riesgo.

Modelos econométricos

El modelo MNL estándar se basa en la idea de que cuando se enfrentan con más de una alternativa en un conjunto de elección, los encuestados escogen la alternativa que les proporciona la mayor utilidad. El modelo de utilidad aleatoria se basa en la idea de que la utilidad es la suma de los componentes sistemáticos (V_{nj}) y aleatorios (ε_{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 variables explicativas K observadas por el analista para la alternativa j y el encuestado n , β_{nk} es un vector de parámetros de preferencias, y ε_{jn} es una variable estocástica no observada. En el modelo MNL, la variable estocástica no observada se supone que es independiente e idénticamente distribuida (IID) siguiendo una distribución de valor extremo tipo I.

La probabilidad de que una persona n elija la alternativa j del conjunto Θ es:

$$P_n(j) = \exp(\mu\beta\chi_{jn}) / \sum_{j \in \Theta} \exp(\mu\beta\chi_{jn}) \quad (2)$$

donde μ es un parámetro de escala que normalmente se establece igual a uno. El modelo LPA es una forma generalizada del modelo MNL, y permite una variación aleatoria en las preferencias, patrones de sustitución sin restricciones, y las correlaciones entre los factores no observados (Train 2002). La independencia de la suposición de alternativas irrelevantes, que se impone para estimar el modelo MNL, puede atenuarse mediante la introducción de otros componentes estocásticos para la función de utilidad a través de β_n . Estos componentes permiten incorporar directamente la heterogeneidad a los parámetros de preferencia para las variables explicativas x_{jnk} :

$$\beta_{nk} = \beta_k + \Gamma_{vnk} \quad (3)$$

donde β_k es el valor medio para el parámetro de preferencia k^{th} , v_{nk} es una variable aleatoria con significado cero y varianza igual a uno, y Γ es la diagonal principal de la matriz triangular inferior, que proporciona una estimación de la desviación estándar de los parámetros de preferencias, a través la muestra.

Las probabilidades en el modelo LPA son promedios ponderados de la formula logit estándar evaluada a diferentes valores de β , donde los pesos son determinados por la función de densidad $f(\beta|\theta)$, donde θ es un vector de parámetro que describe la distribución de $f(\bullet)$. Dejar que π_{nj} sea la probabilidad de que una persona n elija la alternativa j del conjunto J , tal como:

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

donde,

$$L_{nj}(\beta\chi_j) = \exp(\mu\beta\chi_{jn}) / \sum_{j=1} \exp(\mu\beta\chi_{jn}) \quad (5)$$

La función $f(\beta|\theta)$ puede ser simulada utilizando ... de formas funcionales distintas (Train 2002). El modelo LPA captura la heterogeneidad a través de una distribución de probabilidad continua para parámetros de preferencia.

Especificaciones del modelo

Uno de los desafíos dominantes asociados con la evaluación de preferencias, con respecto a la protección contra los incendios forestales, es que el riesgo de que un hogar sea dañado o destruido por los incendios forestales es muy bajo. En este estudio, hemos modificado el formato Krupnick y colaboradores (2002), al presentar una situación en la que se representa el riesgo de una casa que es dañada por un incendio forestal, mediante un cuadro rojo (retículo cuadrado de 1,000) y el riesgo de no ser dañada, se representó por medio de un cuadro blanco. Para simplificar la conceptualización del riesgo de un incendio forestal que daña a una casa, le pedimos a los encuestados que consideran el riesgo real de que su casa podría ser dañada por un incendio durante la próxima década⁷. Nuestro diseño de encuesta modificó el *riesgo* de los daños a la propiedad privada durante un período de 10 años en cinco niveles, de 1-5%; donde 5% era el riesgo basal relacionado con ninguna inversión nueva en los programas de incendios⁸. Se plantearon los daños ocasionados por los incendios forestales, en términos de *pérdidas* económicas, a los valores de propiedad, con cantidades de dinero que van desde \$ 10.000 - \$ 100.000. El *costo* de los programas de reducción de riesgo de incendios forestales varía entre \$ 25 - \$ 1.000 para el programa público y de \$ 50 - \$ 1.000 para el programa privado.

El programa público incluiría actividades comúnmente utilizadas en Florida para la gestión de la vegetación y la reducción de los combustibles en bosques y áreas no desarrollo cercanas a poblados (quema prescrita, tratamiento mecánico y tratamiento herbicida), y sería financiado por un aumento de impuestos. El programa privado aumentaría el espacio defendible (ED) en la propiedad de los demandados, mediante la gestión de la vegetación, tal como la eliminación de árboles cerca de las casas. Se especificaron las constantes específicas y alternativas (CEA) en los modelos empíricos para los programas públicos (*programas_públicos*) y privados (*programas_privados*) de protección contra incendios. Se creó una variable dicotómica para identificar a los encuestados que indicaron que consideran que su casa se encuentra en una zona de alto (contra medio y bajo) riesgo de incendios. Esta variable interactuó con CEA para crear dos nuevas variables (programa público* de alto riesgo, programa privado*de alto riesgo). Para comprobar si las personas que

⁷ Por limitaciones de espacio las figuras no están incluidas aquí pero se pueden ver en Holmes y otros (2012).

⁸ Usamos letras en *itálicas* para representar las variables usadas en el análisis empírico.

anteriormente han realizado actividades privadas de protección contra incendios forestales en su propiedad, pueden tener una baja DAP por programas públicos de protección de riesgo, se creó una variable para comprobar este efecto (*programas públicos*ED*).

Se utilizaron dos variables para obtener la influencia de la experiencia con los incendios forestales de los encuestados. En primer lugar, se creó una variable dicotómica con las respuestas acerca de si o no la gente sufría enfermedades relacionadas con el humo de los incendios forestales, debido a que fue codificado como una unidad si la respuesta era afirmativa y cero en caso contrario. En segundo lugar, se creó otra variable dicotómica en base a si los encuestados alteraron sus planes de viaje debido a los incendios forestales, de nuevo con la unidad que representa la respuesta afirmativa. Si cualquiera de estas dos variables se codificaba como unidad, una nueva variable, la *experiencia personal*, se codificaba como unidad. La influencia de la *experiencia personal* en la media de los parámetros de preferencias para *riesgo* y *pérdida* se evaluó mediante la interacción de la *experiencia personal* con estas variables en ambos modelos MNL y LPA.

Diseño experimental y desarrollo de la encuesta

Se usó el diseño experimental completamente al azar para construir los conjuntos de elección (Holmes y Adamowicz 2003). Se crearon combinaciones potencialmente únicas de los niveles de los atributos para cada conjunto de elección y encuestados. Se presentaron tres alternativas en cada conjunto de elección (Figura 1). Las dos primeras alternativas representaban los programas públicos y privados de mitigación de riesgo. Además, se incluyó una alternativa de status quo a costo cero, lo que representa una situación típica. A cada encuestado se le plantearon un conjunto de preguntas múltiples.

A tres grupos de enfoque se les presentó una versión inicial de la encuesta para evaluar el diseño del estudio, la claridad de la redacción, el uso de gráficos, el rango de valores utilizados y para considerar si los temas importantes fueron omitidos u oscurecidos. Las versiones revisadas de la encuesta fueron sometidas a pruebas preliminares en una muestra de 100 encuestados para evaluar si los encuestados estaban contestando las preguntas de una manera sensible. La versión final de la encuesta se distribuyó mediante un muestreo aleatorio estratificado.

En la figura 1 se muestra un ejemplo de la tarea de elección presentada a los encuestados.

Q18.	Alternativa #1a	Alternativa #2a	Alternativa #3
	Prevención Pública Incendios	Prevención Privada Incendios	Sin hacer nada adicional
Probabilidad de que su casa sea dañada en los próximos 10 años	1 en 1,000 (1%)	40 en 1,000 (4%)	50 en 1,000 (5%)
Daño a propiedad	\$75,000	\$50,000	\$100,000
Pérdida esperada en 10 años = Probabilidad x daño	\$750 durante 10 años	\$2,000 durante 10 años	\$5,000 durante 10 años
Costo único por el programa de 10 años	\$200	\$1,000	\$0
Escogería: Marque una casilla	☐	☐	☐

Figura 1- Ejemplo de una pregunta de selección, incluida en la encuesta a los propietarios de viviendas para evaluar el equilibrio entre el riesgo de incendios, daños y costos del programa.

Muestra de encuesta

Se extrajo una muestra aleatoria estratificada de los hogares donde vive una sola familia, a partir de la población de los hogares en Florida. Tomando en cuenta, que las personas que viven en zonas de alto riesgo de daños causados por los incendios forestales, estarían más preocupadas por los programas de protección de incendios forestales, hemos desarrollado un sistema de ponderación donde para cada hogar de la muestra, a partir de comunidades de bajo riesgo, se muestrearon dos hogares de las comunidades con riesgo medio y tres hogares de las comunidades con alto riesgo (como se define por el Servicio Forestal de Florida). Los hogares fueron reclutados mediante la marcación de dígitos al azar. Después, se envió un folleto de la encuesta, mediante un correo electrónico, a las personas que estaban dispuestas a participar. A dos semanas de haber recibido el folleto, se realizó una llamada telefónica para realizar la entrevista, esta llamada fue grabada por el entrevistador telefónico. En general, nuestro análisis se basa en 922 entrevistas completadas.

Estimación de la DAP y perfiles de riesgo

La estructura del experimento de elección permite que se estime una medida de la DAP por cada atributo, que se refiere a menudo como el precio implícito o el valor parcial de ese atributo (Bennett y Adamowicz 2001, Holmes y Adamowicz 2003). El precio implícito de un atributo se calcula como la estimación del parámetro en ese atributo dividido por (negativo de la) estimación del parámetro en el precio. El valor de la DAP de un nuevo programa de protección de incendios forestales, que combina el nivel de riesgo i y el nivel de pérdida j dentro de un programa público o privado, se obtiene de la siguiente manera:

$$DAP_{ij} = (V_{ij}(p) - V_{00}) * (-1/\beta_p) \quad (6)$$

donde $V_{ij}(p)$ es la utilidad (indirecta) del programa p de incendios forestales (público o privado), V_{00} es la utilidad del statu quo, y β_p es la estimación de parámetros en el precio (costo). La utilidad de la situación actual se obtiene

$$V_{00} = \beta_1 + \beta_2 * riesgo_0 * pérdida_0 \quad (7)$$

donde $riesgo_0$ ($pérdida_0$) es el riesgo ($pérdida$) de nivel para el status quo, y los valores β son las estimaciones de los parámetros para cada uno de los atributos. La utilidad de un nuevo programa de protección contra incendios forestales es

$$V_{ij}(p) = CEA(p) + \beta_1 * riesgo_i + \beta_2 * pérdida_j \quad (8)$$

donde $CEA(p)$ es la estimación de parámetros en el CEA, ya sea para el programa público o privado. La especificación de nuestro modelo empírico nos permite estimar el valor actuarial (VA) de una pérdida para cualquier combinación de riesgo de incendios forestales y pérdida económica contenida en nuestro diseño de la encuesta:

$$AV_{ij} = (riesgo_i) * (pérdida_j) \quad (9)$$

que es simplemente la pérdida del valor esperado asociada con el nivel de riesgo i y el nivel de pérdida j . Utilizando la ecuación (9), se calcula el valor actuarial de la pérdida (decenal) para el statu quo (AV_{00}) como $(0,05) * (\$ 100.000) = \$ 5.000$. La reducción en la pérdida de valor esperado ($RPVE_{ij}$), debido a un programa específico de incendios, proporciona un incentivo para comprar este programa, y se calcula como la diferencia entre los valores actuariales:

$$RPVE_{ij} = AV_{00} - AV_{ij} \quad (10)$$

Estos cálculos nos permiten evaluar las preferencias de riesgo de los encuestados, al calcular la proporción de la DAP por cualquier programa de protección de incendios forestales específico (DAP_{ij}) hacia la reducción de la pérdida de valor esperado relacionado con ese programa ($RPVE_{ij}$). En particular, las preferencias de riesgo son: adversidad al riesgo, riesgo neutral, o en busca de riesgo si $DAP_{ij} / RPVE_{ij}$ es mayor que, igual a, o menor que la unidad, respectivamente. El modelo de la UE indica que las preferencias de riesgo son aversas al riesgo, por lo que es de esperar que si este fuera el caso, entonces $DAP_{ij} / RPVE_{ij} > 1$. En contraste, la teoría de la perspectiva sugiere que las personas que tienen preferencias en busca de riesgo con respecto a las pérdidas, si este fuera el caso, podríamos anticipar que $DAP_{ij} / RPVE_{ij} < 1$.

Resultados empíricos

En la Cuadro 1, se muestran las estadísticas descriptivas para las características de los encuestados utilizados en los modelos empíricos. La muestra estratificada incluyó una proporción sustancial de los encuestados con experiencia personal con impactos provocados por los incendios forestales (alrededor del 43% de la muestra). Se observó que casi el 15% de los encuestados informaron efectos sobre la salud, a causa del humo producido por los incendios forestales, y aproximadamente el 35% informó que había modificado los planes de viaje a causa de los incendios forestales. Teniendo en cuenta que la mitad de la muestra estratificada se extrajo de las comunidades identificadas como de alto riesgo de incendios forestales, es sorprendente que sólo un 10 por ciento de los encuestados informó que vivía en una zona que se considera de alto riesgo de incendios forestales. También se observó que aproximadamente tres cuartas partes de los encuestados indicaron que habían mejorado previamente el espacio defendible en su propiedad.

En el modelo MNL básico, que no incluye heterogeneidad de los encuestados, la estimación de los parámetros sobre las variables *costos*, *riesgo* y *pérdida* fueron negativas y estadísticamente significativos al nivel 0,01, todo lo que parece ser consistente con la toma de decisiones económicas racionales (Cuadro 2). Sin embargo, la estimación del parámetro sobre el *programa público y privado* CEA indica que, en promedio, los encuestados están a favor de la alternativa statu quo (no hacer nada). Sólo los encuestados que viven en, subjetivamente, zonas de *alto riesgo* prefieren pagar por nuevos programas de protección de incendios forestales, y tienen una disposición mayor a pagar por los programas públicos. Utilizando la ecuación (10), que es directa para calcular que la reducción en la pérdida de valor esperado es de \$ 3,750 durante el período del programa de 10 años, debido a una reducción del 50

por ciento en el riesgo de los incendios y las pérdidas económicas, en relación con el statu quo. Al comparar las estimaciones de la DAP por programas de protección de incendios forestales que reducen el riesgo de incendios y daños económicos en un 50 por ciento de la reducción en la pérdida de valor esperado, vemos que las preferencias para los programas de protección de incendios para los encuestados que viven en vecindarios que se consideran de *alto riesgo* de incendios forestales están en busca de riesgo o esencialmente de una DAP menor que las pérdidas esperadas (DAP/RPVE = 0.40 por programas públicos y DAP/RPVE = 0,21 por programas privados.)

Cuadro 1-Estadística descriptiva de las respuestas de los encuestados para las especificaciones de las variables incluidas en el modelo econométrico.

Variable	Descripción	Media (desviación estándar)
Salud (variable dicotómica)	Daños en la salud de los encuestados o de los miembros de la familia a causa el humo de los incendios forestales; en caso afirmativo=1; negativo =0	0.15 (0.35)
Viaje (variable dicotómica)	Los planes de viaje cambiaron debido a los incendios forestales; en caso afirmativo=1; negativo =0	0.35 (0.48)
Experiencia personal (variable dicotómica)	Si cualquiera (salud = 1 ó viaje = 1) = 1: cualquier otro caso = 0	0.43 (0.50)
Espacio defensivo (variable dicotómica)	Las familias realizan por lo menos una actividad para reducir el riesgo de incendios forestales; en caso afirmativo=1; negativo =0	0.76 (0.43)
Alto riesgo (variable dicotómica)	Las familias indican que el hogar se localiza en un vecindario con alto riesgo de incendios; en caso afirmativo=1; negativo =0	0.10 (0.30)

Aunque el modelo MNL básico sugiere que, en promedio, los encuestados son sensibles al *riesgo*, la *pérdida*, y el *costo* de los atributos en la toma de decisiones por programas de protección de incendios forestales, estos resultados ocultan una heterogeneidad significativa entre los encuestados. Como han demostrado los parámetros estimados en el modelo MNL permitiendo preferencias heterogéneas, sólo los participantes con experiencia personal en impactos causados por incendios forestales son los que constantemente evaluaron las compensaciones *riesgo-pérdida-costo* (Cuadro 2). Otros encuestados aparentemente simplificaron la toma de decisiones, al ignorar el atributo de riesgos. Además, a pesar del hecho de que los

encuestados con *experiencia previa* concertaron un equilibrio entre los atributos del programa, la relación DAP/RPVE para los encuestados *con experiencia personal*, que viven en zonas juzgadas subjetivamente como de *alto riesgo*, indican que tenían preferencias por el riesgo (relación DAP/RPVE para una disminución del 50 % tanto en riesgo y pérdidas económicas fueron de 0,46 y 0,39 para los programas públicos y privados, respectivamente). Como era de prever, los encuestados *con experiencia personal* tienen mayores valores de la DAP por programas de protección de incendios forestales que los valores de DAP en poder de otros encuestados. Se observó que este resultado, encontrado en todos los modelos econométricos, es consistente con la investigación previa, que indica que la DAP por programas ambientales estimados, utilizando la valoración contingente, aumenta junto con la experiencia del encuestado (Cameron y Englin 1997).

Cuadro 2- Estimaciones logit Multinomial (MNL) de los parámetros de preferencia de los dueños por programas de mitigación de riesgos de incendios forestales entre los encuestados. La variable dependiente es la alternativa seleccionada en la pregunta de opción.

Variable	modelo MNL	modelo MNL w/ experiencia personal
<i>riesgo (%)</i>	-.074*** (0.02)	-0.032 (0.027)
<i>riesgo *experiencia personal</i>	--	-0.086*** (0.035)
<i>pérdida (\$1,000)</i>	-0.004*** (0.01)	-0.002** (0.001)
<i>pérdida*experiencia personal</i>	--	-0.004*** (0.001)
<i>costo (\$)</i>	-0.0007*** (0.0001)	-0.0007*** (0.0001)
<i>Programa público</i>	0.034 (0.111)	0.047 (0.111)
<i>Programa público*alto riesgo</i>	0.677*** (0.164)	0.695*** (0.164)
<i>Programa público*ED</i>	-0.162* (0.095)	-0.167* (0.095)
<i>Programa privado</i>	-0.337*** (0.90)	-0.329*** (0.090)
<i>Programa privado*alto riesgo</i>	0.833*** (0.167) (0.167)	0.838*** (0.168) (0.168)
N	922	922
McFadden R ²	0.032	0.037

Nota: Errores estándar entre paréntesis. * Indica significación al nivel 0,10, ** indica significación al nivel 0,05, *** indica significación al nivel 0,01. N es el número de observaciones. McFadden R² es una medida de bondad de ajuste que se basa en estimaciones de la función de verosimilitud log, que incluye la intercepción solamente frente al modelo completo, y oscila entre 0 (ningún poder explicativo) y 1 (poder explicativo perfecto.)

Los resultados de la especificación del modelo LAP confirman que los encuestados con *experiencia personal* en impactos provocados por incendio forestales hacen un balance total de las compensaciones riesgo-pérdida-costo, mientras que otros encuestados no lo hicieron (Cuadro 3). Los encuestados sin experiencia personal parecían estar confundidos acerca de los riesgos y la pérdida de atributos, a menudo mostrando el signo equivocado en estimaciones de los parámetros asociados a estos atributos, y tendían a guiarse por las etiquetas de los programas. Observamos que, en el modelo LAP, que incluye experiencia personal en la especificación del modelo, los parámetros de dispersión en el riesgo y las pérdidas no son significativamente diferentes a cero, lo que indica que las preferencias de este subgrupo fueron fijadas con respecto a estos dos atributos. Al calcular la relación DAP/RPVE para los programas que reducen el riesgo y la pérdida en un 50 por ciento, se encontró que los encuestados mostraron la preferencia de buscar el riesgo. Por ejemplo, los valores de la relación para los encuestados con experiencia personal, que viven en zonas juzgadas subjetivamente como de alto riesgo fueron 0,64 y 0,58 para los programas de protección de incendios forestales públicos y privados, respectivamente (lo que es similar a, pero algo mayor que, las proporciones calculadas utilizando los resultados de la modelo MNL).

Cuadro 3-Estimaciones del modelo logit con parámetros aleatorios de las preferencias de los propietarios. 712 parámetros para los programas de mitigación de riesgos de incendios forestales entre los encuestados, con parámetros aleatorios estimados para las variables de riesgo y pérdida. La variable dependiente es la alternativa seleccionada en las preguntas de opción.

Variable con/ estándar)	Modelo LAP (Media)	Modelo LAP (Desviación estándar)	Modelo LAP con/ experiencia personal (Media)	Modelo LAP experiencia personal (Desviación estándar)
Riesgo (%)	0.034 (0.046)	0.877*** (0.066)	0.119** (0.060)	0.871*** (0.066)
Riesgo* experiencia personal --	--	--	-0.183** (0.082)	0.009 (0.343)
Pérdida (\$1,000)	0.002 (0.002)	0.042*** (0.003)	0.007** (0.003)	0.042*** (0.003)
Pérdida* experiencia personal --	--	--	-0.012*** (0.004)	0.002 (0.014)
Costo (\$)	-.001*** (0.0001)	-- (0.0001)	-.001***	--
Programa público	0.924*** (0.161)	-- (0.161)	0.935***	--
Programa público*alto riesgo	1.100*** (0.308)	-- (0.308)	1.131***	--
Programa público*DS	-0.258*** (0.140)	--	-0.262* (0.140)	--
Programa privado	0.352*** (0.228)	--	0.360*** (0.125)	--
Programa privado.*alto riesgo	1.453*** (0.311)	--	1.475*** (0.311)	--
N	922	--	922	--
McFadden R ²	0.152	--	0.155	--

Nota: Errores estándar entre paréntesis. * Indica significación al nivel 0,10, ** indica significación al nivel 0,05, *** indica significación al nivel 0,01. N es el número de observaciones. McFadden R² es una medida de bondad de ajuste que se basa en estimaciones de la función de log-verosimilitud incluyendo la intercepción solamente versus el modelo completo, y oscila entre 0 (ningún poder explicativo) y 1 (poder explicativo perfecto.)

Conclusiones y Discusión

Los modelos econométricos utilizados para el análisis revelaron varios temas comunes en los datos, así como algunas respuestas matizadas. La característica más llamativa de nuestro análisis, fue que sólo los entrevistados que tenían experiencia previa en impactos provocados por incendios forestales constantemente hacían compensaciones entre el riesgo, la pérdida, y el costo de los programas de protección de incendios forestales. Aunque no podemos explicar sin ambigüedades, por qué los encuestados con experiencia previa fueron más cuidadosos con cada uno de los

atributos del programa de incendios forestales, dos perspectivas alternativas parecen pertinentes. La primera se basa en la idea de que la valoración previa y experiencia de elección imita el comportamiento del mercado y mejora la exactitud de la valoración del no mercado (Cummings y otros 1986).

La segunda perspectiva se deriva de un proceso psicológico que se basa en la observación de la toma de decisiones para las elecciones que están cargadas de emociones. En un estudio fundamental, Luce y otros (1997) llegaron a la conclusión de que las emociones negativas provocadas por un problema de elección contribuyen a un proceso más amplio de atributos (es decir, se consideran más atributos) y que la toma de decisiones se efectúa mejor al enfocarse en un solo atributo a la vez (en lugar de la evaluación integral de alternativas), conclusiones del todo consistentes con nuestros resultados.

Nuestro experimento de elección planteó retos analíticos para los encuestados, y los modelos econométricos ayudaron a revelar algunos de los matices de la toma de decisión simplificado entre los encuestados que no utilizaron reglas de decisión completamente compensatorias. El modelo MNL demostró que los encuestados que carecían de experiencia previa con incendios forestales se enfocaron en el equilibrio entre la *pérdida* y el *costo* y generalmente no fallaron en la toma de decisión sobre el *riesgo*. Esta estrategia de simplificación es consistente con el modelo de doble foco discutido por Ganderton y otros (2000), así como la fase de edición de la toma de decisiones inherente a la teoría de las perspectivas (Kahneman y Tversky, 1979). Este modelo también indicó que la mayoría de los encuestados estaban a favor del status quo, ya fuese a través de un programa de protección público o privado, y que sólo aquellos encuestados que viven en zonas de alto consideradas subjetivamente de riesgo de incendio, apoyaría nuevos programas de protección de incendios.

El modelo LAP, que se enfrenta a menos restricciones de estimación que en el modelo MNL, reveló que muchos de los encuestados parecía estar confundidos con respecto a los niveles de *riesgo* y *pérdida* presentados en el experimento, ya que las estimaciones del parámetro de dispersión en estos atributos indicó una señal incorrecta para más de la mitad de los encuestados sin *experiencia previa* sobre los impactos de los incendios forestales. Los resultados también indicaron que los encuestados simplificaron la toma de decisiones al centrar la atención en el atributo de costos y fijar las etiquetas de programa público/privado.

Un segundo tema, revelado consistentemente, a través de modelos econométricos es que la DAP por programas de protección de incendios forestales fue sustancialmente mayor para los encuestados que perciben vivir en una zona de alto riesgo de incendio forestal. Se observó que, mientras que sólo el 10 por ciento de los encuestados informaron que vivían en lo que ellos consideran una zona de alto riesgo de incendios, la mitad de la muestra fue extraída de las áreas objetivamente evaluadas

como de alto riesgo de incendios forestales.

Un tercer tema consistente entre todos los modelos econométricos es que la gran mayoría de los encuestados tomaron decisiones que reflejaron las preferencias de la búsqueda del riesgo o que estaban dispuestos a pagar menos que la pérdida esperada por los programas de protección contra incendios forestales. Así, mientras que los estudios de Winter y Fried (2001) y Talberth y otros (2006) hicieron un llamamiento a la teoría de la utilidad esperada para explicar sus resultados (que predice que los individuos tienen aversión al riesgo), nuestros resultados sugieren que se requiere considerar otros modelos teóricos de la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre. Este tema de la preferencia en busca del riesgo es consistente con la predicción de la teoría de la perspectiva de que las personas dan mayor peso a cierta pérdida (el pago) en relación con una probable pérdida (Kahneman y Tversky, 1979). Además, la prevalencia de la preferencia de la preferencia en busca del riesgo con respecto a los programas de protección de incendios forestales sugiere la importancia de mantener los costos de reducción de combustible lo más bajo posible, mientras se prevé a los miembros de la comunidad con las estimaciones creíbles de los riesgos de incendios forestales y las pérdidas.

En general, nuestros resultados sugieren que los miembros de la comunidad que cuenten con experiencia previa sobre las consecuencias de los incendios forestales en zonas residenciales pueden servir para comunicar sus puntos de vista a los demás miembros de la comunidad, con respecto a las medidas de reducción de combustible. El hecho de que todos los modelos econométricos demuestran que los individuos con experiencia previa pensaron más cuidadosamente sobre las compensaciones de riesgo-costo-pérdida, y que estos individuos tenían mayores valores de DAP por programas de protección de incendios, sugiere que pueden ser persuasivo en la articulación de una lógica bien informada para hacer inversiones hoy en día, con el fin de proteger a sus comunidades de los posibles impactos de incendios forestales en el futuro.

Sumario

Los resultados de una encuesta de preferencias indican que la mayoría de los propietarios de viviendas en Florida, que viven en comunidades propensas a incendios, tienden a no invertir en los programas diseñados para reducir el riesgo de los incendios forestales. La disposición a pagar por los programas de protección de incendios forestales aumenta para los propietarios de viviendas que cuentan con experiencia personal previa sobre las consecuencias de los incendios forestales. Por lo tanto, estas personas pueden ser influyentes en el fomento de otros miembros de la comunidad para invertir en la protección de los incendios forestales.

Referencias

- Bennett, J., Adamowicz, W.L.** 2001. Some fundamentals of environmental choice modeling. In: Bennett, J., Blamey, R., eds. *The choice modeling approach to environmental valuation*, Northampton MA: Edward Elgar Publishing, Inc.; 37-69.
- Boyle, K.** 2003. Contingent valuation in practice. In: Champ, P., Boyle, K., Brown, T., eds. *A primer on non-market valuation*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 111-170.
- Camerer, C.F., Kunreuther, H.** 1989. Decision processes for low probability events: policy implications. *Journal of Policy Analysis and Management* **8**, 565-592.
- Cameron, T.A., Englin, J.** 1997. Respondent experience and contingent valuation of environmental goods. *Journal of Environmental Economics and Management* **33**, 296-313.
- Cohen, M., Etner, J., Jeleva, M.** 2008. Dynamic decision making when risk perception depends on past experience. *Theory and Decision* **64**, 173-192.
- Cummings, R.G., Brookshire, D.S., Schulze, W.D.** 1986. Valuing environmental goods: an assessment of the contingent valuation method. Totowa, NJ: Rowman & Allanheld.
- Deaton A, Muellbauer J** (1980) *Economics and consumer behavior*. (Cambridge 571 University Press: New York.)
- Ganderton, P.T., Brookshire, D.S., McKee, M., Stewart, S., Thurston, H.** 2000). Buying insurance for disaster-type risks: experimental evidence. *Journal of Risk and Uncertainty* **20**, 271-289.
- Holmes, T.P., González-Cabán, A., Loomis, J., Sánchez, J.** 2012. The effects of personal experience on choice-based preferences for wildfire protection programs. *International Journal of Wildland Fire* (<http://dx.doi.org/10.1071/WF11182>).
- Holmes, T.P., Abt, K.L., Huggett, Jr. R.J., Prestemon, J.P.** 2007. Efficient and equitable design of wildfire mitigation programs. In: Daniel, T.C., Carroll, M.S., Moseley, Raish, C., eds. *People, fire, and forests: A synthesis of wildfire social science*. Corvallis, Oregon: Oregon State University Press; 143-156.
- Holmes, T.P., Adamowicz, W.** 2003. Attribute-based methods. In: Champ, P., Boyle, K., Brown, T., eds. *A primer on non-market valuation*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 171-220.
- Kahneman, D., Tversky, A.** 1979. Prospect theory: an analysis of decision under risk. *Econometrica* **47**, 263-292.
- 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.
- Kunreuther, H., Slovic, P.** 1978. Economics, psychology, and protective behavior. *American Economic Review* **68**, 64-69.
- Loomis, J., 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.
- Luce, M.F., Bettman, J.R., Payne, J.W.** 1997. Choice processing in emotionally difficult decisions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* **23**, 384-405.

- National Fire Plan.** 2001. A collaborative approach for reducing wildland fire risks to communities and the environment: 10-year comprehensive strategy. National Fire Plan. <http://www.fireplan.gov/reports/7-19-en.pdf>.
- Schoemaker, P.J.H.** 1982. The expected utility model: Its variants, purposes, evidence and limitations. *Journal of Economic Literature* **20**, 529-563.
- Talberth, J., Berrens, R. McKee, M., Jones. M.** 2006. Averting and insurance decisions in wildland-urban interface: implications of survey and experimental data for wildfire risk reduction policy. *Contemporary Economic Policy* **24**, 203-223.
- Train, K.E.** 2002. Discrete choice methods with simulation. (New York, New York: Cambridge University Press.
- Tversky, A., Kahneman, D.** 1973. Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive Psychology* **4**, 207-232.
- Winter G., Fried, J.** 2001. Estimating contingent values for protection from wildland fire using a two-stage decision framework. *Forest Science* **47**, 349-360.

Información Económica sobre el Comportamiento Histórico de los Incendios Forestales en los Bosques en el Estado de Paraná, Brasil¹

Vitor Afonso Hoeflich², Alexandre França Tetto³, y Antonio Carlos Batista²

Resumen

Es ampliamente conocido que los incendios forestales han causado un impacto severo en el mundo, y su frecuencia e intensidad tiende a aumentar como resultado de los cambios climáticos en curso, los cuales se han presentado en las últimas décadas. Cabe señalar que la interfase urbano-rural ha atraído la atención de los gobernantes, mediante la concentración del número de acontecimientos de incendios y sus especificidades. Este estudio tuvo como objetivo determinar los indicadores económicos, a partir del perfil de caracterización de los incendios forestales en el área de estudio durante el periodo de 1965 al 2009.

Se realizó un análisis estadístico relacionado con el número de incendios, las áreas quemadas, la distribución de los sucesos de incendios, la distribución a través de los meses del año, y la identificación de sus causas principales. Los costos relacionados con la incidencia de los incendios cuentan para la prevención y el control de los incendios en el área de estudio. Los resultados obtenidos permiten indicar propuestas para la administración de la empresa forestal en términos del importe de la inversión que es necesaria para implementar actividades relacionadas con la prevención y el control de los incendios, desde la perspectiva de un análisis económico.

Palabras clave: incendios forestales - validación de los daños económicos – beneficio económico

Introducción

A pesar de la adopción de prácticas de protección, cada año los incendios

¹An abbreviated version of this manuscript was presented at the Fourth International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Climate Change and Wildfires, Nov 5-11, 2012, Mexico City, Mexico.

²Agronomist, Dr., Professor at the Rural Economics and Extension Department, Federal University of Parana, vitor.ufpr@gmail.com

³Forest Engineer, Dr., Professor at the Forestry Science Department, Federal University of Parana – Av. Pref. Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico - CEP 80.210-170 Curitiba, PR, Brazil. tetto@ufpr.br, batistaufpr@ufpr.br

forestales destruyen y dañan una gran extensión de bosques en el mundo. En Sudamérica, se estima que en las últimas tres décadas han ocurrido por lo menos 290,000 incendios forestales, afectando 51.7 millones de hectáreas, de las que aproximadamente 300,000 hectáreas eran de plantaciones de *Pinus* y *Eucalyptus* (Centro Global de Monitoreo de Incendios-GFMC, 2007).

Las predicciones de las consecuencias del cambio climático global y particularmente en la base regional indican un incremento en los incendios forestales en varias partes de la región. Por ello, los países necesitan, y están obligados a incrementar su cooperación mutua, con el fin de estar coordinados y preparados para enfrentar estos retos relacionados con más escenarios severos.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la FAO (2006), en Sudamérica, 85.5% de los incendios forestales, en promedio, se deben a causas humanas, 5.5% a causas naturales (rayos) y 9% a causas desconocidas. Entre las causas humanas de deforestación están las áreas para cultivos agroindustriales, las actividades mineras, la construcción de redes carreteras, las actividades de ganadería y la tala ilegal. De acuerdo con la FAO (2007), los sucesos de incendios cerca de la interfase urbano-rural se ha intensificado en la última década, especialmente en países como Argentina, Chile, Ecuador y Uruguay. Pellizzaro y otros (2011) también observaron en Cerdeña, Italia, un incremento en los sucesos de incendios en las últimas tres décadas, especialmente en el verano, debido al aumento de los turistas en la región y cuando las condiciones climáticas son más propicias para el inicio y la propagación del incendio. Ribeiro y Viegas (2011) reportaron un incremento en los incendios de la interfase urbano-rural en Portugal y Grecia en 2007 y Australia en 2009. Se identificaron temporadas con mayor peligro de incendio intenso relacionado con la pérdida de hogares, una o dos veces por década, en base a sus 38 años de presencia de incendios en Sídney, Price y Bradstock (2011) Vosgerau y otros (2006) reportaron que los incendios forestales en Brasil se concentran en el invierno e inicios de la primavera, debido a una menor humedad relativa y precipitación promedio. De acuerdo con estos autores, el periodo normal de incendios en Brasil es de junio a octubre, cuando aproximadamente 69% de los incendios ocurren y se queman más del 90% de las áreas. Soares, Batista y Santos (2006), analizaron los últimos 20 años de los sucesos de incendios forestales en Brasil y encontraron que los incendios normales comprenden los meses de junio a noviembre, con un mayor número de incendios registrados en el periodo de agosto a septiembre.

Soares y Batista (1998) indicaron que uno de los incendios más grandes en la historia ocurrió en 1963, quemando 2 millones de hectáreas en el Estado de Paraná, aproximadamente 10% de su superficie, que corresponde a 20,000 ha de

plantaciones forestales, 500,000 ha de bosques y 1,480.000 ha de pastos naturales, bosques secundarios y arbustos. En este incendio, Klabin Paraná, una industria de papel tenía 85% del área impactada, por ello, fue la primera en realizar, desde 1965, el registro sistemático de los eventos y preocuparse sobre tema (Figura 1).



Figura 1—(A) Helicóptero utilizado para transportar a los encargados de combatir los incendios y (B) campesinos abandonando la región en el incendio de 1963
Fuente: Paraná (1963)

Las medidas de protección contra los incendios deben tomarse incluso antes del establecimiento de un área. Las decisiones relacionadas con la preparación del suelo, el espacio, el área de los rodales, las prácticas silvícolas y la construcción de cortafuegos afectarán en el futuro el potencial para los sucesos y propagación de incendios. Anualmente, el administrador forestal debe decidir sobre los recursos que se deben asignar para la protección contra los incendios en áreas que están bajo su cuidado. Tradicionalmente, esta decisión se ha basado en la experiencia y el juicio relacionado con el éxito o fracaso de las medidas adoptadas anteriormente en la región. Esta práctica puede dar lugar a grandes disparidades en materia de protección entre los diferentes ámbitos políticos y, sobre todo, el administrador hace que sea difícil saber si los recursos se están calculando correctamente (Soares, 1978; Soares y Batista, 2007).

Dada la importancia de establecer el monto que es adecuado para la protección contra los incendios forestales, el objetivo de este estudio fue estimar el presupuesto para la protección contra los incendios forestales en la Hacienda Monte Alegre, Paraná, Brasil, con base en los datos recogidos durante 45 años, de 1965 a 2009.

Material y Métodos

Caracterización del área

La investigación se llevó a cabo en la Hacienda Monte Alegre, propiedad de la empresa Klabin Paraná, ubicada en el municipio de Telemaco Borba, PR, región central del Estado de Paraná, segunda meseta, aproximadamente entre las coordenadas 24° 03' y 24° 28' latitud sur y 50° 21' y 50° 43' longitud oeste, convirtiéndose en la mayor área continua de plantaciones forestales en Brasil, comenzando con la actividad en 1943 (Figura 2).

La topografía del área es ligeramente alomada y la característica geográfica más importante es el río Tibagi, principal afluente del Paranapanema, que a su vez es uno de los principales afluentes del río Paraná. La altitud promedio del área de estudio es de 850 m sobre el nivel del mar, con un intervalo de 750 a 868 m (Soares, 1972, Nunes y otros, 2009, Nunes y otros, 2010).

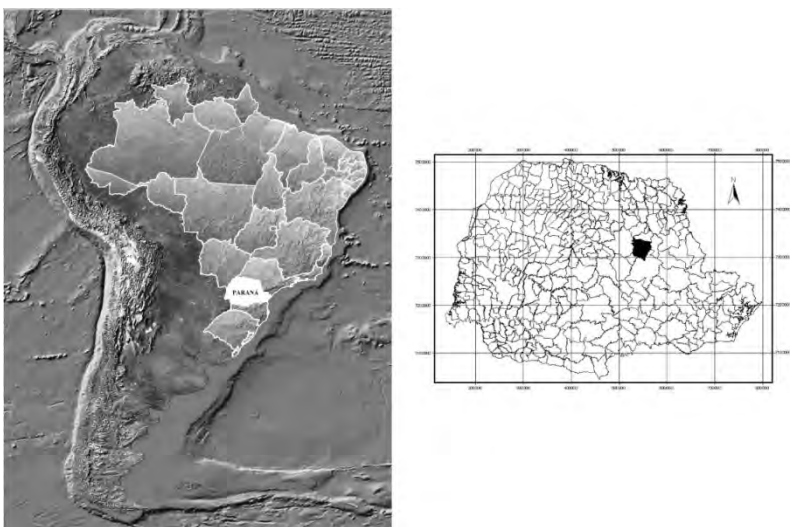


Figura 2—Ubicación del área de estudio.

De acuerdo con la clasificación del clima de Köppen de la región perteneciente a Cfb, eso decir, templado húmedo, sin temporada de seca, con veranos frescos y heladas regulares. De acuerdo con la clasificación de las zonas de vida de Holdridge, la región se localiza en la formación ecológica de bosque templado húmedo (Soares, 1972).

La precipitación anual promedio de la región fue de 1,608 mm, lo que indica, de acuerdo con Nunes y otros (2010), un excedente de agua de 557 mm/año distribuido en todos los meses del año. Nunes y otros (2009) analizaron los datos sobre la precipitación mensual y el número de los días de lluvia en el periodo de 1947-2005, y concluyeron que los meses más húmedos fueron diciembre, enero y febrero, y los meses con menos lluvia fueron julio y agosto. Estos resultados coinciden con los

generados por el Instituto Agronómico de Paraná (IAPAR, 2012). El trimestre con el menor número de días de lluvia fue julio, agosto y septiembre.

El promedio de la temperatura anual fue de 18.6 °C y los meses más fríos fueron junio, julio y agosto, con una temperatura absoluta mínima de -5 °C (junio 1978), y los meses más calurosos fueron diciembre, enero y febrero, con una temperatura absoluta máxima de 38.2 °C (Nov. 2005). El promedio de la humedad relativa del aire fue de 78.5%, con valores más bajos durante septiembre, octubre y noviembre. El viento tiene dirección predominante sureste, con velocidad del viento mensual promedio que oscila de 1.4 a 1.8 m/s, que corresponde con los vientos clasificados como “muy débil” a “débil” de acuerdo con la escala de Beaufort (Soares y Batista, 2004).

Con respecto a la vegetación natural, existen tres formaciones básicas en la región: bosques de *Araucaria angustifolia*, bosques secundarios resultantes de la explotación de los bosques de pinos y los campos con formaciones de ríos. El cultivo de la agrosilvicultura, implantado sobre todo en las zonas de los pastizales naturales, para remplazar los bosques secundarios degradados, se implanto *Eucalyptus* spp, *Pinus taeda*, y en menor medida, *Araucaria angustifolia*. De acuerdo con Santos (2007), Klabin Paraná es responsable de una superficie de 259,923 ha, de los cuales 132,104 ha son plantaciones forestales de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* y *Araucaria angustifolia* y *Eucalyptus* spp.

Las actividades forestales, incluyendo la siembra, la cosecha y la producción de madera, son la base de la economía local. Los datos del Departamento de Economía Rural, el Ministerio de Agricultura y Abastecimiento del Estado, muestran que en 2009 el Valor Bruto de Producción (VBP) en el país era de \$ 169.2 millones de reales, y los principales productos fueron: troncos de papel y celulosa (61%), troncos de pino para aserraderos (28%), troncos para leña (3%) y plántulas de pino (3%) (Paraná, 2009a). Esto representó 5.7% del VBP de los productos forestales del Estado en 2009 (Paraná, 2009b). La madera producida en esta región es esencial para el suministro del mayor productor, exportador y reciclador en Brasil, que se localiza dentro de la Hacienda Monte Alegre (Klabin, 2011).

La Hacienda Monte Alegre cuenta con una superficie de 131214,70 hectáreas y esta dividida administrativamente en 21 regiones forestales.

Recolección de datos y análisis

Los registros de los incendios en la Hacienda Monte Alegre, desde 1965 son hojas individuales y contienen la siguiente información: a) región forestal donde ocurrió el incendio, b) datos c) superficie quemada, d) tipo de vegetación afectada, y) hora de la detección del incendio; f) hora de inicio del combate; g) personal y equipo utilizado

en el combate; h) momento en el que el fuego fue controlado; i) causa probable del incendio; j) comentarios adicionales; k) dato del responsable de la información.

Los datos de los cuestionarios se tabularon, estandarizaron y analizaron mediante el programa Visual FoxPro versión 9 (Corporación Microsoft, 1989 - 1993) y Microsoft Office 2007 (Corporación Microsoft, 2006).

En la Figura 3 se muestra esquemáticamente el diagrama de flujo del presupuesto estimado para la protección contra los incendios forestales, propuesto por Urzua (1967) y modificado por Soares (1978).

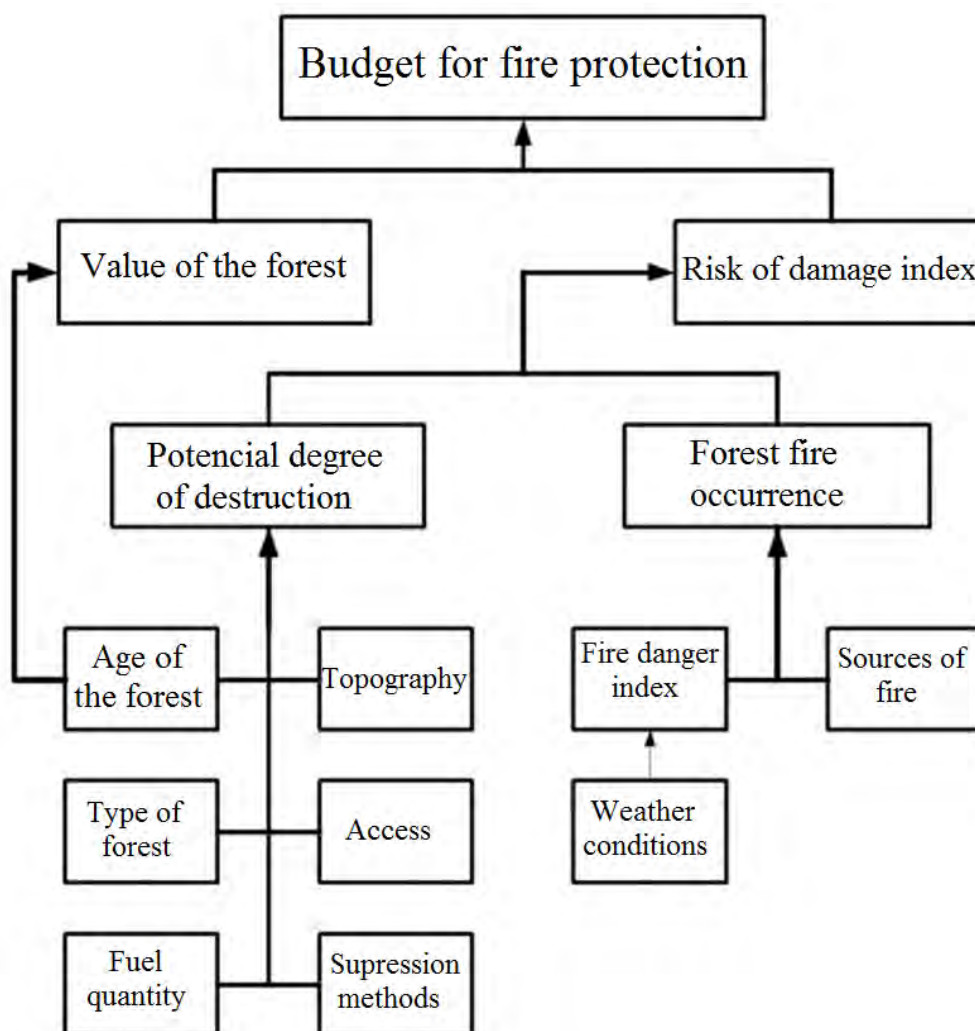


Figura 3—Diagrama de flujo del presupuesto estimado para la protección contra los incendios forestales
Fuente: Soares (1978)

El supuesto principal que se realizó en este estudio fue que el presupuesto para

el combate debe basarse en el valor actual del bosque.

El valor económico de la producción forestal se obtuvo de estimaciones analizadas por Cubbage y otros (2011). Estos autores han calculado las productividades basándose en el uso de un Incremento Medio Anual (IMA) para las tasas de crecimiento en base a en rodales representativos o típicos para cada especie en la región correspondiente del país.

Posteriormente, se estimaron los costos típicos para el establecimiento, el manejo del rodal, la administración u otro factor para cada especie/región. El autor también utilizó información relevante sobre los precios de la madera por tamaño de producto, obtenida de la literatura disponible o por contacto personal con los colegas en el sector de madera. Estos datos se utilizaron después para calcular el rendimiento de las inversiones de la madera para los propietarios de los terrenos forestales, en base al crecimiento de la madera para las rotaciones típicas y la venta de madera en pie.

Los análisis del flujo de caja descontada, incluyendo el Valor Actual Neto como se describe en Wagner (2012) para referencia, fueron utilizados para medir el rendimiento de inversión de la madera.

La cantidad estimada que se asignará para la protección contra los incendios, se calculó en base a la información obtenida, a partir del área de la coordinación técnica del combate en la región de estudio.

Resultados

En el periodo de 1965 a 2009, los encargados de combatir los incendios de Klabin Paraná atendieron 1676 incendios forestales, estos incendios alcanzaron un área de 2923.16 ha (Figuras 4 y 5).

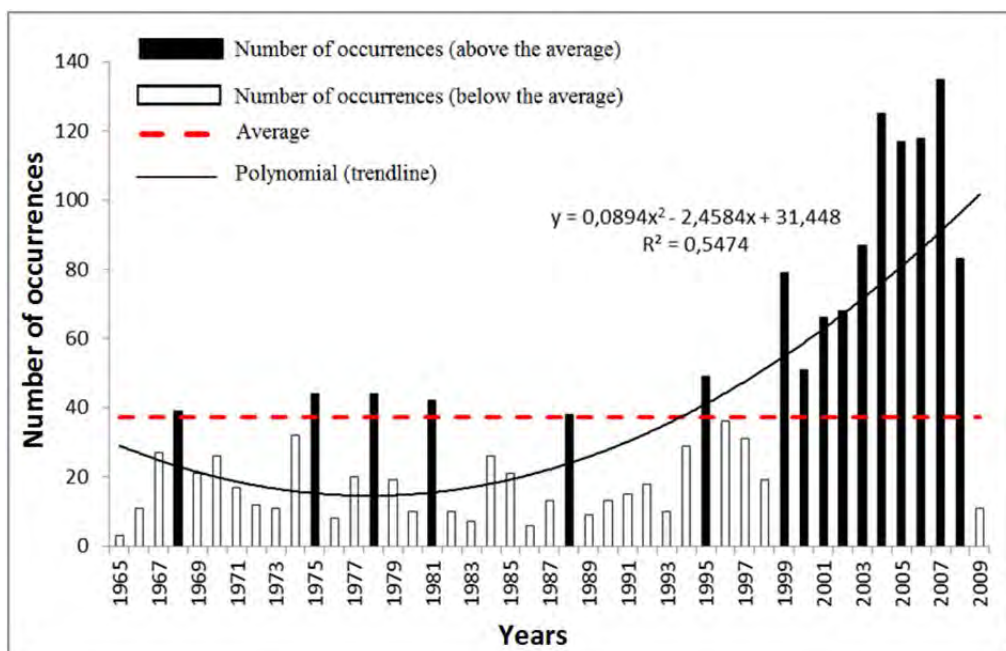


Figura 4—Incendios forestales en la Hacienda Monte Alegre en el periodo de 1965–2009.

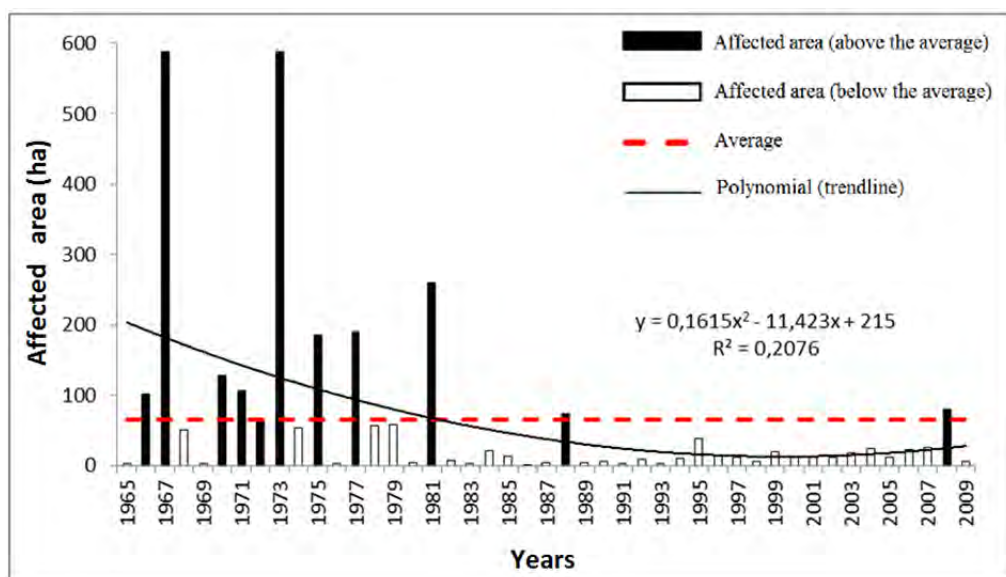


Figura 5—Superficie afectada en el periodo de 1965 a 2009.

Debe tomarse en cuenta que la superficie media afectada por el incendio fue de 1.74 ha, menor que la encontrada por Soares y Rodríguez (2004) para el periodo de 1998 a 2001, que fue de 40.34 ha. La superficie media afectada por el incendio estaba por debajo de la cantidad citada por Medeiros (2007) que fue de 4.08 ha en Cenibra (MG) para el periodo de 2002 a 2006, y la reportada por Freitas y Vique (2004) que

osciló de 5.17 a 188.34 hectáreas por año en V & M (MG) en el periodo de 2000 a 2007.

El análisis económico se realizó considerando los costos de las acciones relacionadas con el combate de los incendios, que se detallan en el Cuadro 1, que corresponden al uso de un equipo de 20 ayudantes, un encargado, un camión cisterna y una excavadora.

Cuadro 1—Composición del costo promedio por hectárea en la supresión de los incendios forestales.

Costos	Tiempo requerido por hectárea (h/ha)	Cada hora (R\$/h)	Valor total (R\$/ha) ^{1/}
Encargados de combatir los incendios	120	14,00	1.680,00
Camión cisterna	3	80,00	240,00
Excavadora	1	100,00	100,00
Total			2.020,00

^{1/}valores predominantes en junio de 2012

Fuente: Coordinación técnica de los encargados de combatir incendios.

Las estimaciones desarrolladas por Cubbage y otros (2012) indicaron que el valor actual neto de una hectárea de *Pinus taeda*, considerando una rotación de 15 años y un incremento anual promedio de 30 m³ por hectárea-año, equivalen a \$ 4,662.00/ha dólares estadounidenses, (\$ 9,324.00 reales/ha, considerando el valor del dólar observado en junio/2012).

Las estimaciones indicaron que los costos requeridos para combatir los incendios forestales corresponden a aproximadamente el 22% del valor actual neto de la producción de madera directamente afectada por el suceso de incendio.

Cabe señalar que los daños causados por los incendios forestales incluyen, además de la pérdida causada directamente en términos de la producción de madera, otras pérdidas intangibles, tales como los impactos en las cuencas, en los valores socioeconómicos y ambientales relacionados con los productos no madereros y en la conservación de biodiversidad.

Tomando en cuenta, el suceso de incendio en un área de 2,900 hectáreas, las pérdidas causadas por esta acción resultarán en una reducción de los ingresos de la producción de madera equivalente a aproximadamente \$ 13,519,800.00 dólares estadounidenses y el costo para el combate solamente requiere de \$ 2,929,000.00 dólares, lo que indica que por cada dólar invertido en resultados no combatientes, bajo las condiciones estudiadas, surgirá una pérdida de por lo menos \$ 4.62 dólares.

Considerando, además, que por cada hectárea devastada por el incendio, el empresario deberá tener una hectárea adicional para no comprometer su proceso

industrial ni sus resultados económicos. Esto significa, que por cada dólar que no se invierte en las prácticas para prevenir y combatir los incendios, se generará una pérdida de por lo menos \$900.00 dólares para el establecimiento de una hectárea adicional de plantación forestal y \$ 4,500.00 dólares, que representan el costo de una hectárea de tierra.

Teniendo en cuenta estas limitaciones tradicionales, se debe estimar que por cada dólar invertido en el prevención y combate de los incendios forestales se puede generar una pérdida financiera de aproximadamente \$10.00 dólares, que toma en cuenta la pérdida del ingreso de la madera y la inversión en el área adicional para obtener el equivalente en la producción forestal, además de las pérdidas intangibles.

Comentarios Finales

Los acontecimientos históricos de incendios indicaron que los incendios forestales alcanzaron un área de más de 2,900 ha en el periodo.

La pérdida total de la producción en esta área alcanzará los \$ 13,519,800.00 dólares y el costo del combate necesitará solamente de una inversión de \$ 2,929,000.00 dólares, sin considerar que por cada hectárea devastada por el incendio, el empresario debe tener una hectárea adicional equivalente para no comprometer su proceso industrial ni su resultado.

El análisis indica que bajo las condiciones estudiadas, invertir un dólar en la prevención y el combate evita un daño directo de por lo menos \$ 4.62 en el ingreso de los negocios forestales.

La necesidad de mayores adquisiciones o la implementación de una hectárea de plantación forestal generará un ingreso financiero adicional de aproximadamente \$10.00 dólares, en términos de pérdida de madera y área adicional para la inversión de la producción, además de las pérdidas intangibles.

El análisis esta sujeto a las condiciones de estudio, que claramente indican la gran importancia de las inversiones y las acciones en la prevención y combate de los incendios, en las condiciones que prevalecen en la región de estudio.

Sumario

El objetivo del estudio es determinar los indicadores económicos del perfil de los incendios forestales en el área de estudio durante el periodo de 1965 a 2009. El análisis estadístico se relaciona con el número de incendios, la superficie quemada, la distribución espacial de los acontecimientos, la distribución a través de los meses del año, y la identificación de sus principales causas. Se determinaron los costos relacionados con la incidencia

de los incendios, así como la relación costo-beneficio relacionada con las acciones que se han tomado en cuenta para la prevención y el control de los incendios en el área de estudio. Los resultados obtenidos indican que bajo las condiciones estudiadas, invertir un dólar en la prevención y la lucha contra incendios evade un daño directo de por lo menos \$ 4.62 dólares en el ingreso de los negocios forestales. La necesidad de adquisiciones mayores e implementación de una hectárea de plantación forestal puede provocar resultados financieros adicionales de aproximadamente \$10.00 dólares estadounidenses, en términos de pérdida de madera y área adicional para la inversión en la producción, además de los daños no tangibles. El análisis claramente indica la gran importancia de las inversiones y acciones en la prevención y combate de los incendios, en las condiciones que prevalecen en la región de estudio.

Agradecimientos

El autor agradece a Indústrias Klabin Paraná, *en especial a* Cassiano Ricardo Schneider, Carlos Cesar Santos, Áurio de Souza Bueno, Nilton Luis Venturi y Alexandre Camargo Pontes.

Referencias bibliográficas

- Agronomic Institute of Paraná(IAPAR).** 2012. Médias históricas em estações do IAPAR. Available at: <http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Telemaco_Borba.htm>. Acesso em: 22/03/2012.
- Cubbage, F., Mac Donagh, P., Balmeli, G., Olmos, V.M., Bussoni, A., Rubilar, R., De La Torre, R., Kotze, H., Murara, M., Hoeflich, V.A., Hall, P., Yao, R., Lord, R., Huang, J., Monges, E., Pérez, C. H., Wikle, J., Adams, P., Gonzalez, R., Carrero, O.**2012. Global Timber Investments and Trends, 2005-2011.2012. 13 p. (Relatório técnico).
- Davis, K. P.**1966. Forest management: regulation and valuation. New York, McGraw-Hill, 2. Ed. 519 p.
- Freitas, G. D. de; Vique, B.** 2007. Prevenção e controle de incêndios na VMFL. In: Simpósio Sul-Americano Sobre Prevenção E Combate A Incêndios Florestais, 4., 2007, Belo Horizonte. **Anais do...** Belo Horizonte: UFV, SIF, 2007. CD-ROM.
- Global Fire Monitoring Center(GFMC).** 2011. Regional South America Wildland Fire Network. Available at: <<http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/SouthAmerica/SouthAmerica.html>>. Acesso em: 03/08/2011.
- Klabin. A.** 2011.Available at: <<http://www.klabin.com.br/pt-br/a-klabin/default.aspx>>. Acesso em: 13/10/2011.
- Medeiros, A. G. de B.** 2007. Prevenção e combate a incêndios florestais na Cenibra. In: Simpósio Sul-Americano Sobre Prevenção E Combate A Incêndios Florestais, 4., 2007, Belo Horizonte. **Anais do...** Belo Horizonte: UFV, SIF, 2007. CD-ROM.

- Microsoft Corporation.** 1993. Microsoft FoxPro language reference. Relational database management system for MS-DOS and Windows. Redmond, Wa, 1989 -1993. (Manual de software).
- Microsoft Corporation.**2007. Microsoft Office 2007. USA, 2006. (Users Guide).
- Nunes, J. R. S., Batista, A. C., Soares, R. V., Fier, I. S. N.** 2009. Climatologia do comportamento da precipitação no Distrito Florestal de Monte Alegre. Floresta, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 783 - 792, out./dez. 2009.
- Nunes, J. R. S., Fier, I. S. N., Soares, R. V., Batista, A. C.**2010., Desempenho da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺) no Distrito Florestal de Monte Alegre. Floresta, Curitiba, v. 40, n. 2, p. 319 - 326, abr./jun. 2010.
- Organização Das Nações Unidas Para Agricultura E Alimentação (FAO).** 2006. Global forest resources assessment: progress towards sustainable forest management. Roma: FAO, 2006. 320 p. FAO Forestry Paper 147.
- Paraná.Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado.**1963. Operação Paraná em flagelo: histórico. Curitiba: Secretaria de Segurança Pública; Secretaria da Agricultura; Governo dos EE. UU., 1963. s/p.
- . Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. 2009a. Valor Bruto da Produção Agropecuária. 2009a. 227 p. Curitiba: DERAL. Disponível em: <<http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Grafmunicipal09.pdf>>. Acesso em: 22/02/2011.
- . Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. 2009b. Valor Bruto da Produção Agropecuária Paranaense. 2009b. 35 p. Curitiba: DERAL. Disponível em: <<http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/VBP2009.pdf>>. Acesso em: 22/02/2011.
- Pellizzaro, G., Arca, B., Pintus, G.V., Ferrara, R., Duce, P.** 2011. Wildland-urban interface dynamics during the last 50 years in North East Sardinia. In: International Conference On Fire Behaviour And Risk, 2011, Alghero, Itália. Book of abstracts. Itália: TAS, Tipografi Associati Sassari, 2011. p. 58.
- Price, O., Bradstock, R.**2011. Patterns and drivers of wildfire occurrence at the urban interface in Sydney, Australia. In: International Conference On Fire Behaviour And Risk, 2011, Alghero, Itália. Book of abstracts. Itália: TAS, Tipografi Associati Sassari, 2011. p. 31.
- Ribeiro, L.M., Viegas, D.X.** 2011. An analysis on wildland urban interface in Portugal. In: International Conference On Fire Behaviour And Risk, 2011, Alghero, Itália. Book of abstracts. Itália: TAS, Tipografi Associati Sassari, 2011. p. 35.
- Rodriguez, M.P.R., Soares, R.V.** 2004. Análisis comparativo entre los incendios forestales en Monte Alegre, Brasil y Pinar del Río, Cuba. Floresta, Curitiba, v. 34, n. 2, maio/ago. 2004, p. 101 – 107.
- Santos, C.C.**2007. Prevenção e controle de incêndios florestais na Klabin.In: Simpósio Sul-Americano Sobre Prevenção E Combate A Incêndios Florestais, 4., 2007, Belo Horizonte. **Anais do...** Belo Horizonte: UFV, SIF, 2007. CD-ROM.
- Soares, R.V.**1972. Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centro-paranaense, Brasil. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro Tropical de Ensino e Investigação, Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas OEA, Turrialba, Costa Rica, 1972.
- . Alocação de recursos para proteção contra incêndios florestais. Floresta, v. 9, n. 2, 1978, p. 103 – 109.

- Soares, R.V., Batista, A.C.**1998. Curso de prevenção e controle de incêndios florestais: o problema do fogo na floresta e meteorologia aplicada aos incêndios florestais: módulo 1. Brasília: ABEAS/UFPR, 1998. 32 p.
- _____. 2004. Meteorologia e climatologia florestal. Curitiba, Brazil. 195 p.
- _____. 2007. Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba, Brazil. 250 p.
- Soares, R.V., Batista, A.C., Santos, J.F.** 2006. Evolution of forest fire statistics in brazilian protected lands in the last 20 years. In: International Conference On Forest Fire Research, 5, 2006, Portugal. **Anais do.....** Portugal, 2006.
- Urzua, J.D.V.**1967. Determinación del valor destinado a protección contra incendios em uma plantación florestal. Turrialba, CATIE, 1967. 7 p.
- Vosgerau, J.L., Batista, A.C., Soares, R.V., Grodzki, L.** 2006. Avaliação dos registros de incêndios florestais do Estado do Paraná no periodo de 1991 a 2001.Floresta, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 23 – 32, jan./abr. 2006.
- Wagner, J. E.**2012. Forestry economics: a managerial approach. New York: Routledge. 382 p.

Impacto de los Incendios Forestales Sobre el Hábitat de la Avifauna en un Bosque de Encino-Pino en Puebla, México¹

Laura P. Ponce-Calderón², Dante A. Rodríguez-Trejo², Beatriz C. Aguilar-Váldez², y Elvia López-Pérez³

Resumen

Para evaluar el impacto del fuego a diferentes intensidades en el hábitat de la avifauna, se determinó la calidad del hábitat mediante un análisis del grado de asociación de la riqueza, abundancia y diversidad de especies de aves y la estructura de vegetación (riqueza, abundancia, diversidad y cobertura); estos atributos se cuantificaron con cuatro sitios de muestreo para aves y cinco para puntos centrados en cuadrante respectivamente, para cada una de tres diferentes condiciones: encinar quemado años atrás, quemado a baja y alta intensidad recientemente, en un bosque de encino-pino en Chignahuapan, Puebla. Se obtuvo un mayor registro de vegetación y de aves en la primera condición, mientras que los valores más bajos corresponden a la condición quemada a alta intensidad. La diversidad de aves del área quemada a baja y alta intensidad, no muestra diferencias significativas entre sí ($t_{56}(2)=0.39$, $P>0.05$). La estructura de vegetación mostró una diversidad diferente entre la condición quemada años atrás y la quemada a alta intensidad ($t_{250}(2)=14.70$, $P<0.05$). Únicamente la correlación entre la riqueza de aves y de vegetación resultaron asociadas, esto nos indica que los incendios forestales, a un año de ocurridos, pueden reducir la riqueza vegetal y esto puede representar una mejora en la calidad del hábitat para algunas aves. Tal fue el caso de *Certhia americana*, especie adaptada al fuego y que mostró asociación significativa con sitios quemados a baja intensidad recientemente.

Palabras clave: Asociación, aves, diversidad, fuego, vegetación

Introducción

Dentro de la problemática de los incendios forestales ha destacado principalmente el fuego dentro de los ecosistemas (Pantoja 2008). Un incendio es un agente de cambio

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, noviembre 5-11, 2012; Ciudad de México, México.

² División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México. Email: quautli@hotmail.com; dantearturo@yahoo.com; cyrtonyxmontezumae@yahoo.com; loel50@hotmail.com

³ Departamento de zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México.

con efectos negativos, sin embargo actualmente se está reconociendo el papel ecológico del que permite ocupar un espacio en el cual aparecen nuevas interacciones entre especies (Pons 2005), como es el caso de algunas aves que pueden colonizar un área quemada desde sitios cercanos a estos y que normalmente esas especies desaparecerán años más tarde con el avance de la sucesión (Brotons y otros 2005). Los ecosistemas mantenidos por el fuego brindan un hábitat con gran abundancia y diversidad de especies, las cuales responden de diferente manera dependiendo de la frecuencia, intensidad, severidad y época del año en que se quemo (Lyon 1978). El efecto se puede medir de diversas maneras y distintos enfoques, por tal razón el objetivo del presente trabajo es determinar tanto en bosques de encino-pino afectados varios años atrás, como en aquellos quemados a baja y alta intensidad recientemente, la calidad del hábitat de la avifauna, tomando como hipótesis que las áreas afectadas por incendios superficiales de baja intensidad y relativamente frecuentes ayudan a mantener el hábitat y la diversidad de la avifauna en el bosque de Encino-Pino en Chignahuapan, Puebla.

Material es y métodos

El área de estudio se encuentra situada en Chignahuapan estado de Puebla y sus coordenadas geográficas son: 19°48'29" de latitud norte y 97°59'35" de longitud oeste. El clima predominante es templado, la temperatura media anual es de 12.6 °C, con una precipitación media anual de 1096.6 mm (García 1973).

Se determinó la riqueza y diversidad de especies mediante un muestreo de aves y vegetación, haciendo una comparación entre tres condiciones con diferente grado de afectación: encinares no afectados recientemente por incendios (más de cinco años desde su ocurrencia) (C1), así como en aquellos quemados a baja (C2) y alta intensidad (C3) el año anterior (2008).

La condición quemada a baja y alta intensidad recientemente fueron incendiadas en el mes de abril del 2008, la condición 1 se quemo cinco años atrás (CONAFOR, 2008).

El trabajo de campo comprendió tres visitas para muestreo de vegetación y aves en junio, octubre y noviembre del 2009.

Muestreo de avifauna. Se definió, para cada condición un tamaño de muestra de 500 m² y se estableció un muestreo dirigido en base al grado de afectación. La obtención de datos para las comunidades de aves se realizó mediante los métodos de recuento en puntos con radio fijo (Wunderle 1994) y redes de niebla. Los puntos fueron distribuidos de manera irregular (zigzag) a intervalos de 100m entre cada una, para dar una cobertura equitativa sobre el área. El primer método consistió en detectar a todas las aves en un radio de 25 m por un periodo de 15 minutos. Se

ubicaron tres puntos con radio fijo por condición en el que las aves fueron observadas con binoculares de 25x50m marca Bushnell, para su identificación se utilizaron diversas guías de campo. Debido a las condiciones del hábitat se operaron cuatro redes de niebla, dos de 12 m y dos de 6 m en cada condición, para captura, identificación y liberación de las aves. Las redes se ubicaron a la par de cada recuento en punto con radio fijo colocándose donde la vegetación era más espesa para pasar desapercibida por las aves. Esta actividad se realizó para cada condición, de 7 a 12 y de 16 a 19 horas, con revisiones cada 45-60 minutos, haciendo en total 288 revisiones en todo el estudio.

Se determinó la riqueza de especies sumando el número total de especies en cada parcela con los dos métodos de muestreo (Redes de niebla y puntos de conteo). La abundancia se obtuvo sumando el número de individuos de la especie i (Chi 2007). Para cada condición se estimó la diversidad mediante el índice de Shannon-Wiener (H')

Los valores obtenidos fueron sometidos a pruebas de t de Hutchenson (Zar 1999).

Se determinó la similitud de especies de avifauna entre condiciones con el Coeficiente de Comunidad de Jaccard (Magurran, 1988), este coeficiente considera datos cualitativos para la comparación entre comunidades (Mostacedo y Fredericksen 2000).

Muestreo de vegetación. Se utilizó el método de cuadrantes centrados en un punto para la vegetación arbórea y el de cuadros empotrados de Ossting para la vegetación herbácea se muestreó una superficie de un metro cuadrado y para la vegetación arbustiva una superficie de 16 metros cuadrados (Müeller-Dombois y Ellenberg 1974). En cada parcela se estableció un transecto en forma de zig-zag de 500 m y se ubicó un punto de muestreo cada 100 m, debido a que el área de estudio presentaba homogeneidad en su vegetación. Para la vegetación arbórea las variables fueron: especie, distancia del punto central de muestreo al árbol y cobertura del dosel. Para la vegetación herbácea y arbustiva, las variables medidas fueron: especie, número de plantas y cobertura en por ciento.

Se determinó el valor de importancia (VI), que es un estimador de la relevancia ecológica de las especies en una comunidad (Franco 1989). Se obtuvo riqueza y abundancia así como el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') de especies en cada parcela. Los valores de diversidad obtenidos entre condiciones de afectación por fuego, se compararon con pruebas de t de Hutchenson (Zar 1999). Para determinar la similitud de la riqueza de especies se usó el Coeficiente de Comunidad de Jaccard (Magurran 1988).

Se analizó si había asociación entre condición y la presencia de algunas especies comunes en áreas incendiadas por medio de una prueba de X^2 que es aplicable a una

serie de situaciones en donde se hacen conteos y en donde los datos no obedecen a una distribución normal (SAS 1999).

Para determinar el grado de asociación entre las variables avifaunísticas (riqueza, abundancia y diversidad de especies) y las variables de la estructura de vegetación (cobertura, riqueza, abundancia y diversidad de especies de vegetación) se explicó la relación entre los dos grupos de variables mediante un análisis de correlación de Pearson (SAS 1999).

Resultados y Discusión

Durante las observaciones en campo se obtuvieron registros de 30 especies de aves, pertenecientes a 6 órdenes y 20 familias. Las familias que predominaron fueron Fringillidae con 8, Turdinae con 3 y Caprimulgidae con 2. En las redes se capturaron 23 individuos en las tres condiciones (12 en la condición quemado años atrás, 7 en la de baja intensidad y 4 para la de alta intensidad) que pertenecen a 19 especies.

La diversidad de especies estimada en el bosque mixto quemado años atrás difiere tanto de la diversidad del bosque quemado a baja intensidad ($t_{50(2)}=3.51$, $P<0.05$) como del bosque mixto quemado a alta intensidad ($t_{50(2)}=3.88$, $P<0.05$). Sin embargo, la diversidad en estos bosques quemados a baja y alta intensidad no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($t_{56(2)}=0.39$, $P>0.05$) entre sí. El índice de similitud de Jaccard indica que para las áreas quemadas a baja y alta intensidad, existe mayor similitud de especies de aves, esto se debe a que ambas comparten seis de las 16 especies que se detectaron en ambas condiciones.

Las diferencias de riqueza y diversidad de especies de aves entre condiciones pueden ser debido a que en las áreas quemadas los hábitats se convierten en comunidades de plantas más diversas y abiertas y después del paso del fuego se recuperan esos hábitats beneficiándose así la población de vida silvestre, proporcionándole alimento y componentes estructurales que ellos requieren (Main y Tanner 2003). El fuego también crea mosaicos y parches de vegetación en los que muchas especies, en especial las granívoras, encuentran alimento y hay un incremento en su abundancia después del incendio (Whelan 1995). Trabajos como el de Castrale (1982) demuestran la tolerancia de la avifauna a las quemas, una cualidad que pudiera ser mejor estudiada conociendo la frecuencia con la que el hábitat es quemado de forma natural (Society for Range Management 1996).

Conner y otros (2001) comentan que la razón por la que algunas especies declinan es por la interacción biológica y física que tienen en el ecosistema. El proceso de recuperación de un área y su fauna después de un incendio varía dependiendo de la intensidad del fuego, el tipo de hábitat, los modelos de precipitación y la época del año en que se quemó.

El área quemada a alta intensidad muestra una considerable diferencia en diversidad y riqueza. Esto podría obedecer a que al arder de manera severa se elimina temporalmente a varias especies de plantas y por lo tanto puede reducir o retrasar la repoblación de fauna en el sitio quemado (Main y Tanner 2003). Bock y Bock (1983), observaron que al primer año del incendio especies como *Certhia americana* y *Zenaida macroura* se ven atraídas a las áreas incendiadas. En términos de similitud de especies entre condiciones los resultados que se obtuvieron fueron bajos, lo cual puede indicar que cada condición cuenta con atributos que hacen que algunas especies estén presentes o ausentes como la *Certhia americana* especie que se limitó a áreas quemadas y presentó preferencia por el área quemada a baja intensidad esto apoya a Imbeau y otros (1999), quienes aseguran que la extinción de los incendios afecta a esta especie, Hobson (1999) demuestra que la densidad de la *Certhia americana* y el *Turdus migratorius* aumenta después de un incendio. Main y Tanner (2003) señalan que el fuego influye positivamente en algunas poblaciones de vida silvestre debido a que se estimula la producción frutícola, lo que resulta en una mayor disponibilidad de semillas y bayas que sirven de alimento para muchas especies, esto significa que debe considerarse los hábitos alimenticios de las especies para entender mejor esa influencia.

Conner y otros (2001), mencionan especies como *Pipilo erythrophthalmus* y *Otus asio*, como especies comunes en comunidades mantenidas por el fuego, este último a menudo usa las cavidades del pájaro carpintero para anidar, ambas fueron registradas en este estudio. El *Pipilo erythrophthalmus*, muestra ser dos veces más frecuente y tres veces más abundante en sitios mantenidos por el fuego (Bechy y otros 2008).

Para vegetación se obtuvieron un total de 58 especies en las tres condiciones.

De forma general en el encinar quemado años atrás se registró una diversidad de 2.648 y una riqueza de 25, esta primera condición representa la diversidad más alta para las tres condiciones. Para el encinar quemado a baja intensidad se obtuvo una diversidad de 2.438 y una riqueza de 24.

En el encinar quemado a alta intensidad se obtuvo una riqueza de 29 especies y una diversidad de 1.6305, esta última representa la menor diversidad de las tres condiciones.

Al comparar las tres condiciones se observó que el área quemada años atrás muestra la misma diversidad que el área quemada a baja intensidad ($t_{250(2)}=1.92$, $P>0.05$), de igual forma el área quemada a baja y alta intensidad no mostraron diferencias en su diversidad ($t_{150(2)}=.33$, $P>0.05$), sin embargo para el área quemada años atrás y el área quemada a alta intensidad ($t_{250(2)}=14.70$, $P<0.05$) la diversidad difirió.

El índice de similitud de Jaccard indica que el área quemada años atrás y la quemada a baja intensidad tienen en común 14 especies, en el área quemada años

atrás y a alta intensidad compartieron 13 especies, para el área quemada a alta y baja intensidad se encontraron 12 especies comunes entre sí.

Al realizar la asociación vegetación y avifauna se obtuvo una baja correlación negativa, entre la riqueza de vegetación y la riqueza, abundancia y diversidad de especies de aves; por el contrario, la abundancia, diversidad y cobertura no estuvo asociada a la avifauna (Figura 1), esto se puede deber principalmente a que los muestreos no fueron lo suficientemente representativos estadísticamente para poder tener una asociación entre la estructura de vegetación y la estructura de aves.

Vegetación	Avifauna		
	Riqueza	Abundancia	Diversidad
Riqueza	-0.46139*	-0.48535*	-0.45126*
Abundancia	-0.22573	-0.17915	-0.22895
Diversidad	-0.11977	-0.28593	-0.02882
Cobertura	-0.22377	-0.26465	-0.22248

Figure 1—Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables avifáunísticas y de vegetación con una significancia de $*P<0.05$.

Los resultados indican que al disminuir la vegetación hay un incremento en la riqueza, abundancia y diversidad de especies de aves, esto puede deberse a que la condición va a tener mayor riqueza de especies vegetales y que les va a proporcionar refugio y sitios de percha para las aves, pero pueden no estar presentes plantas que son indispensables para sus requerimientos particulares, un ejemplo de ello es que en las condiciones quemadas recientemente, se encontró un mayor número de colibríes, posiblemente por la presencia de *Bouvardia ternifolia*, especie con flores tubulares aptas para este tipo de aves, cuyo pico está adaptado para tomar el néctar de flores como ésta. Por otro lado, en este estudio no se encontró asociación entre la cobertura arbórea y la vegetación del sotobosque; sin embargo, Chi (2007) encontró que la densidad arbórea afecta a la abundancia de aves, ya que cuando existe más densidad arbórea disminuye la abundancia de especies de aves. Por su parte autores como Pons y Prodon (1996), mencionan que las aves nunca abandonan las zonas afectadas por el fuego, estas arriban desde el día siguiente al incendio y hasta un año después.

La relación entre la riqueza de aves y vegetación demuestra que al reducir este último elemento, puede mejorar la calidad del hábitat para algunas aves debido a que usan estas áreas porque cuentan con una estructura de vegetación apta para alimentarse, anidar y reproducirse, como lo demuestran trabajos similares en los que áreas no quemadas tienen mayor abundancia, pero menor riqueza de aves (García-Ruiz y otros 1996), de manera similar Jansen y otros (1999) indican que como consecuencia de la abundancia de pastos, la riqueza y demografía en aves tienen un efecto negativo. Existen especies adaptadas al fuego que dependen de este factor para

mantener su hábitat y que se ven beneficiadas con incendios de baja intensidad, tal fue el caso de *Certhia americana*.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó con el apoyo de CONACYT, UACH Coordinación de Posgrado así como el Departamento de Ciencias Forestales, CONAFOR Puebla, CONAFOR estado de México y forma parte del Proyecto Ajusco de la UACH, sobre ecología del fuego, manejo integral del fuego y restauración de áreas incendiadas.

Referencias

- Beachy, L.; Robinson, R. 2008.** Divergence in Avian Communities Following Woody Plant Invasions in a Pine Barrens Ecosystem. *Natural Areas Journal* 28 (4): 395-403.
- Bock, E; Bock, J. 1983.** Responses of birds and deer mice to prescribed burning in Ponderosa Pine. *J. Wildl. Manage.* 47:836-840.
- Brotons, L.; Pons, P.; Herrando, S. 2005.** Colonisation of dynamic Mediterranean landscapes: where do birds come from after fire? *J. Biogeogr.*, 32: 789-798.
- Castrale, S. 1982.** Effects of two sagebrush control methods on nongame birds. *J. Wildl. Manage.* 46:945-952.
- Chi, A. 2007.** Avifauna en bosque manejado de *Pinus patula* en la mojonera, Zacualtipán, Hidalgo. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados, México. 19-38 pp.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2008.** Reporte de incendios. Estado de Puebla. Reporte inédito.
- Conner, N.; Craig, R.; Ray, W. 2001.** The red-cockaded woodpecker: surviving in a fire-maintained ecosystem. University of Texas Press, USA. 47-56 pp.
- Franco, J. 1989.** Manual de ecología. 2ª edición. Editorial Trillas. México. 93-131 pp.
- García, E. 1973.** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México. 164-170 pp.
- García, M.; Lasanta T.; Ruíz, P.; Ortigosa L.; White, s. 1996.** Land-use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landscape Ecology* 11: 267-277.
- Hobson, A.; Schiec, J. 1999.** Changes in bird communities in boreal mixedwood forest: Harvest and wildfire effects over 30 years. *Ecological Applications* 9(3):849-863.
- Imbeau, L.; Savard, L.; Gagnon, G. 1999.** Comparing bird assemblages in successional black spruce stands originating from fire and logging. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne de Zoologie* 77(12):1850-1860.
- Jansen, R.; Littler, M.; Crowe, M. 1999.** Implications of grazing and burning of grasslands on the sustainable use of francolins (*Francolinus spp.*) and on overall bird conservation in the highlands of Mpumalanga province, South Africa. *Biodiversity and Conservation* 8:587-602.
- Lyon, J. 1978.** Effects of fire on fauna, Gen, Tech. Rep, WO—6. Washington, DC: U. S. A. Dep. Agric., For. Serv. 41 p.

- Magurran, E. 1988.** Diversidad Ecológica y su medición. Princeton University Press. New Jersey, U.S.A. 200 p.
- Main, B.; Tanner, G. 2003.** Effects of Fire on Florida's Wildlife and Wildlife Habitat. Department of Agriculture, Cooperative Extension Service, University of Florida, IFAS, Florida, U. S. 1-4 pp.
- Mostacedo, B.; Fredericksen, S. 2000.** Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). 87 pp.
- Mueller-Dombois, D.; Ellemberg, H. 1974.** Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons, Inc. New York. 547 pp.
- Pantoja, V. 2008.** Las dos caras del fuego:-Invitando a reflexionar sobre la “cara buena” y la “cara mala” del fuego. Informe Técnico del Equipo Global para el Manejo del Fuego 2008-1. The Nature Conservancy. Arlington, VA. 13 pp.
- Pons, P. 2005.** Consecuencias de los incendios forestales sobre los vertebrados y aspectos de su gestión en regiones mediterráneas. Consultado en: <http://www.udg.edu/portals/92/Bio%20Animal/pdf/Pons%20inCamprodon-Plana2007.pdf>. 229-245 pp.
- Pons, P.; Prodon, R. 1996.** Short-term temporal patterns in a Mediterranean shrubland bird community after wildfire. *Acta Oecol.*, 17:29-41.
- Sas, Institute. 1999.** SAS/STAT User's guide: statistics, statistical version 8. Cry. North Carolina, U.S.A.
- Society for Range Management. 1996.** Prescribed Fire. The Task Group on Unity and Concepts in Terms. *Rangeland wildlife*. 18(3):305.
- Whelan, R. 1995.** The ecology of fire. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 220 pp.
- Wunderle, J. Jr. 1994.** Métodos para contra aves terrestres del Caribe. Departamento de Agricultura, Servicios Forestales, Río Piedras, New Orleans, LA. USA. P.18-20 pp.
- Zar, J. 1999.** Biostatistical Analysis. Fourth edition. Prentice Hall Inc., New Jersey, USA. 32-45 pp.

Colas Gruesas Catastróficas y Funciones de Daños no Uniformes: Economía de Incendios Forestales y Adaptación al Cambio Climático Para la Política Pública¹

Adriana Keating² y John Handmer²

Resumen

El sureste de Australia es una de las zonas más propensas a los incendios forestales. En febrero del 2009, incendios devastadores parecen haberse salido de control, climático y económico, dando lugar a una nueva categoría de peligro de incendios apropiadamente llamada “catastrófica”. Casi todas las pérdidas por los incendios forestales han estado relacionadas con estas condiciones extremas. El cambio climático verá un aumento en los días de peligro de incendios catastróficos. La estimación de los impactos económicos de estos incendios es un insumo clave para la toma de decisiones sobre la adaptación al cambio climático por tres razones importantes: 1) el engrosamiento de las colas de la distribución de probabilidad de los desastres provocados por los incendios es frecuentemente un impacto significativo del cambio climático, 2) la extrapolación de los costos actuales de los incendios forestales asume que es un punto de inicio conveniente y sencillo para la estimación de los costos de adaptación, sin embargo, una nueva escasez de datos significa que este supuesto es muy ambicioso; y 3) la reducción del riesgo de desastres provocados por los incendios es una política con poco remordimiento, que se cree tiene beneficios netos positivos del escenario climático actual futuro, evitando así los riesgos relacionados con la incertidumbre con respecto al clima futuro. Este enfoque presenta retos clave para la economía de incendios con respecto a la valoración total de los impactos de los desastres, principalmente, en relación a los impactos indirectos e intangibles. Además, la extrapolación de estimaciones del impacto actual bajo condiciones climáticas futuras y socio-demográficas es complicada por una no linealidad en la función del daño con la mayoría de los daños que ocurren durante las condiciones extremas, cambios que son menos precisos que las proyecciones con respecto a las medias.

Palabras clave: adaptación, incendio forestal, cambio climático, función de daño, extremos.

¹ An abbreviated version of the paper was presented at the Fourth International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Climate Change and Wildfires, November 5-11; Mexico City, Mexico

² Research Economist and Director, respectively, Centre for Risk and Community Safety, RMIT University, Melbourne, VIC, Australia 3001; e-mail: adriana.keating@rmit.edu.au; john.handmer@rmit.edu.au.

El sureste de Australia es una de las zonas más propensas a los incendios en el planeta. En el 2009, incendios devastadores parecen haberse salido de control, climático y económico, dando lugar a una nueva categoría de peligro de incendios apropiadamente llamada ‘catastrófica’. Estas son las condiciones que plantean la mayor dificultad para la lucha contra los incendios contemporáneos y que frecuentemente los abruma a pesar de los recursos y las tecnologías utilizadas. Casi todas las pérdidas por los incendios forestales han sido relacionadas con esas condiciones extremas. Tales condiciones, y los graves impactos relacionados, históricamente han sido poco frecuentes, pero son precisamente las condiciones las que serán más comunes bajo el cambio climático y son el tema de interés para la política pública. Enfrentarse con incertidumbres complejas inherentes en extremos es un reto clave para la economía de adaptación al cambio climático.

El cambio climático verá un incremento en estos días de peligro de incendios catastróficos (Lucas y otros 2007, IPCC 2012) y la estimación los impactos económicos de estos incendios es un dato clave en la toma de decisiones de adaptación al cambio climático. Se propone que la extrapolación de los impactos económicos de los incendios forestales en escenarios de cambio climático es complicada por muchos factores, en particular la naturaleza de la función de daño, la cual se considera no es lineal ni uniforme. Se propone una función de daños escalonados (o por etapas), donde los daños se vuelvan menos previsibles, conforme aumenten las condiciones de peligro de los incendios, y se expandan de manera significativa e impredecible a niveles de peligro de incendios catastróficos.

La adaptación al cambio climático se está convirtiendo cada vez más en un enfoque de la política local y regional y plantea preguntas desafiantes en la economía de los desastres. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2012, pág. 3) define a la adaptación: “En los sistemas humanos, el proceso de adaptación al clima actual o esperado y sus efectos, con el fin de moderar los daños o aprovechar las oportunidades benéficas. En los sistemas naturales, el proceso de adaptación al clima actual y sus efectos, la intervención del hombre puede facilitar la adaptación al clima esperado.” El CMNUCC (2009, pág. 3) define los costos de adaptación como “los costos de planeación, preparación, facilitación e implementación de medidas de adaptación, incluyendo los costos de transición” y los beneficios de la adaptación como “los costos de los daños evadidos de los beneficios acumulados a partir de la implementación de medidas de adaptación.” En este contexto los costos y los beneficios no son solo financieros sino también toman en cuenta impactos económicos, sociales y ambientales más amplios.

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, el enfoque económico estándar para la adaptación al cambio climático consiste en estimar el costo del cambio climático sin la adaptación y ponderarlo contra el costo del cambio climático en las

diversas inversiones de adaptación, menos el costo de esas inversiones. De ahí que los beneficios de la inversión de la adaptación al cambio climático son los costos evadidos del impacto del cambio climático debido a la adaptación. Por lo tanto el primer paso en una evaluación económica de la adaptación al cambio climático es estimar los costos de los impactos del cambio climático en el futuro mediante la estimación de los costos actuales y la extrapolación bajo condiciones sociales, económicas y climáticas futuras. La estimación de los costos actuales y futuros de los incendios forestales es vista como un primer paso importante en la toma de decisiones para la adaptación al cambio climático, por tres razones que se mencionan a continuación.

En primer lugar, el aumento en la frecuencia y la severidad del clima del incendio catastrófico y extremo, o el engrosamiento de las colas de la distribución de probabilidad de los desastres provocados por los incendios, es ampliamente considerado como un impacto significativo del cambio climático (IPPC 2012). Se prevé que se modifique la función de distribución de probabilidad (FDP) de los incendios forestales, con más incendios y mayores incendios extremos. Lucas et al (2007) predice que para el sudeste de Australia, varios factores que influyen en la probabilidad de incendios, no solo la temperatura, es probable que aumenten con el cambio climático. Se prevé que los días de peligro de incendios catastróficos se vuelvan más frecuentes.

En segundo lugar, los trabajos recientes en Australia han demostrado que las incertidumbres significativas relacionadas con la economía de adaptación al cambio climático han dado lugar a una percepción de que la extrapolación de los costos de los incendios forestales actuales es un punto de partida conveniente y sencillo para la estimación de los costos. La escasez de los datos sobre los costos actuales de los incendios (Keating y Handmer 2011) y los desafíos metodológicos importantes que se describen aquí supone que esta percepción es, por desgracia, demasiado ambiciosa.

Finalmente, la reducción del riesgo de desastre de incendios es una política de adaptación al cambio climático con poco remordimiento. Las adaptaciones con poco remordimiento son favorecidas en la política de adaptación al clima debido a que tienen beneficios netos positivos independientemente del escenario climático futuro, evitando así los riesgos asociados con la incertidumbre sobre el clima futuro (Ackerman y Stanton 2011). En el caso de los incendios forestales se cree que existen beneficios netos positivos para la mitigación de incendios, la prevención y la preparación (adaptación) independientemente del escenario climático que eventúan. De hecho Crompton y McAneney (2008) observa que el costo actual de los desastres en Australia actualmente garantiza una mayor inversión en mitigación y prevención debido a que son propensos a tener ganancias significativas.

Un enfoque renovado en la economía de los incendios con el fin de informar sobre la toma de decisiones de la adaptación al cambio climático presenta desafíos en lo que respecta a la valoración de los impactos indirectos e intangibles. Una evaluación económica del impacto de los incendios forestales incluye la valoración de impactos directos tales como la pérdida de los bienes o el ganado, impactos indirectos como la pérdida de ingresos empresariales y los impactos intangibles como los servicios de los ecosistemas y el patrimonio cultural. Una proporción significativa de datos sobre el costo de los incendios forestales proviene de la industria aseguradora y como tal, representa solo los costos directos que son frecuentemente asegurados (Keating y Handmer 2011). Por lo tanto, estas estimaciones frecuentemente omiten los impactos más significativos, con algunos autores que estiman que los impactos indirectos e intangibles son 2 o 3 veces mayores que los impactos directos (IPCC 2012). Por otro lado, los economistas han establecido métodos para la estimación de los impactos indirectos e intangibles, éstos rara vez son utilizados por falta de recursos.

Otro desafío importante para la economía de los incendios en relación con la adaptación al cambio climático es cómo las estimaciones actuales son extrapoladas bajo condiciones futuras. Empíricamente se puede observar que la relación entre el índice de peligro del incendio forestal en el día del incendio y el daño resultante no es lineal. En Australia, relativamente, se han generado pocos daños en los días en que el índice de peligro de incendio forestal se encuentra por debajo de 50, la mayoría de los daños se producen en los días en que el índice de peligro de incendio forestal sobrepasa los 100 (Blanchi y otros 2010). Estas necesidades no lineales se deben tener presentes cuando se extrapola el riesgo de incendio futuro. La mayoría de los riesgos se basan en aumentar la frecuencia y la severidad de las temperaturas extremas y las condiciones, en lugar de las temperaturas medias y las condiciones. Por desgracia, las proyecciones respecto a los extremos son más inciertas que las que proyectan las medias.

Los incendios récord del mes de febrero del 2009 ocurridos en Victoria, Australia se cree perseguían el aumento en la frecuencia y la severidad de los eventos climáticos extremos que se prevé ocurran bajo el cambio climático. Lo que el presente caso demuestra es que cuando las condiciones facilitan una situación catastrófica, la preparación convencional y la respuesta a menudo puede ser muy deficiente. Estos tipos de “extremos extremos” no están bien representados en el análisis tradicional costo-beneficio, ya que tienen una probabilidad baja e impregnan múltiples incertidumbres. Sin embargo, es precisamente este tipo de eventos que están generando impulso para la adaptación al cambio climático.

Referencias

- Ackerman, F., Stanton, E. A.** 2011. Climate Economics: The State of the Art, Stockholm Environment Institute-U.S. Center, <http://www.sei-international.org>
- Blanchi, R., Lucas, C., Leonard, J., Finkle, K.** 2010. Meteorological conditions and wildfire-related house loss in Australia. *International Journal of Wildland Fire* **19**, 914–926.
- Crompton, R.P., McAneney, K.J.** 2008. Normalised Australian insured losses from meteorological hazards: 1967-2006, *Environmental Science and Policy*, **11**: 371-378.
- Dobes, L.** 2009. People versus planners: Social Preferences for Adaptation to Climate Change, Environmental Economics Research Hub Research Reports No. 41, December 2009, ISSN 1835-9728
- IPCC.** 2012. Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19.
- Keating, A., Handmer, J.** 2011. The cost of disasters to Victoria and Australia – No straightforward answers, VCCCAR Project: Framing Adaptation in the Victorian Context Working Paper 3, http://www.vcccar.org.au/files/vcccar/Framing_project_workingpaper3_210611.pdf Accessed 29 November 2011.
- Lucas, C., Hennessy, K., Mills, G., Bathols, J.** 2007. Bushfire weather in southeast Australia: recent trends and projected climate change impacts. Consultancy report prepared for the Climate Institute of Australia. Bushfire CRC and CSIRO: Melbourne.
- UNFCCC.** 2009. Potential costs and benefits of adaptation options: A review of existing literature, Frakemwork Convention on Climate Change, United Nations, Technical Paper 2009/2.

Metodología Utilizada en Cuba para Estimar las Pérdidas Económicas Producidas por los Incendios Forestales¹

Marcos Pedro Ramos Rodríguez² y Raúl González Rodríguez³

Resumen

La evaluación de las pérdidas económica producidas por los incendios forestales constituye una actividad de gran complejidad e importancia. Es compleja primero por la gran cantidad de efectos, en plazos diferentes, que provocan en los ámbitos social, económico y ambiental. En segundo lugar debe mencionarse la dificultad de asignar un valor de mercado a recursos tales como la diversidad biológica o las especies en peligro de extinción. Es importante porque permite demostrar, con cifras, cuánto se pierde cada vez que ocurre uno de estos fenómenos, lo cual puede ayudar a la toma de decisiones para la asignación de recursos. En este trabajo se presenta la metodología utilizada en Cuba para estimar las pérdidas económicas producidas por los incendios forestales. Es el resultado de la experiencia acumulada en la práctica con metodologías similares y de trabajos investigativos realizados. La estimación de las pérdidas directas se basa en indicadores tales como: pérdidas por reforestación, pérdidas por madera talada afectada, pérdidas por madera en pie afectada, pérdidas por productos no maderables, pérdidas por extinción, y pérdidas por trabajos de protección. Las pérdidas indirectas se estiman a través de la asignación de factores a variables tales como: tamaño del incendio, pendiente del terreno, estructura de la vegetación, tiempo de recuperación de la cobertura vegetal, y porcentaje de daño a la cubierta vegetal. La aplicación de la metodología en una superficie de 6 ha cubiertas por una plantación de *Pinus caribaea* Morelet, var. *caribaea*, afectadas por un incendio permitió estimar pérdidas totales de 5 018 121,04 pesos cubanos (240 331,47 USD).

Palabras claves: indicadores, pérdidas directas, pérdidas indirectas, valor de mercado,

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales; noviembre 5-11 de 2012, Ciudad de México, México.

² Profesor, Departamento Forestal, Facultad Forestal y Agronomía, Universidad de Pinar del Río, Cuba; Email: cmramos@af.upr.edu.cu

³ Departamento de Manejo del Fuego, Dirección Nacional del Cuerpo de Guardabosques, Cuba

Introducción

La evaluación de las pérdidas económica producidas por los incendios forestales constituye una actividad de gran complejidad e importancia. Es compleja primero por la gran cantidad de efectos, en plazos diferentes, que provocan en los ámbitos social, económico y ambiental. En segundo lugar debe mencionarse la dificultad de asignar un valor de mercado a recursos tales como la diversidad biológica o las especies en peligro de extinción. Es importante porque permite demostrar, con cifras, cuánto se pierde cada vez que ocurre uno de estos fenómenos, lo cual puede ayudar a la toma de decisiones para la asignación óptima de recursos para las actividades de manejo del fuego.

En la actualidad, a pesar de los avances experimentados, las metodologías para evaluar económicamente los efectos provocados por los incendios forestales no son todo lo precisas que se quisiera, no obstante, permiten mostrar valores impresionantes. De acuerdo con González-Cabán (2000) desde 1980 a 1994, el Servicio Forestal de EE.UU. participó en el control de 164 000 incendios forestales que afectaron a 3 millones de hectáreas de bosques, aproximadamente. El Servicio Forestal de los EE.UU. gastó más de 5 500 millones de dólares en actividades de extinción de incendios para proteger los bosques nacionales y otras tierras adyacentes, tanto privadas como públicas. Esta cantidad representa sólo una fracción de la pérdida total ocasionada por incendios forestales en los EE.UU.

En 1998 en el área del Bosque Nacional Yellowstone (Palzin y otros citados por González-Cabán 2000) se estimaron pérdidas directas de \$ 21 millones en rentas turísticas por los incendios forestales. Entre 1988 y 1990, la pérdida estimada fue de 60 millones de dólares, y además, los incendios ocasionaron una disminución en la tasa de visitas casi igual al crecimiento de un año. Los impactos a largo plazo sobre el turismo en el área fueron difíciles de evaluar porque las comunidades aledañas tenían diferentes niveles de dependencia sobre la industria turística. Otras pérdidas como el daño al hábitat silvestre, especies amenazadas y en peligro de extinción, suelos u otros recursos o servicios no comerciales no fueron incluidas en esta estimación. El incendio de 1998 en el Parque Nacional Yellowstone es un ejemplo de los centenares de situaciones en que los daños y pérdidas totales de incendios han sido solo parcialmente estimados.

En Cuba, de acuerdo con Cortón (2006) desde 1961 hasta el 2005 los incendios forestales provocaron una pérdida económica de 545 115 000,00 Pesos. El mayor porcentaje de las mismas se ha estimado en el quinquenio 2001 – 2005, con pérdidas de 103 069 000,00 Pesos.

Este trabajo tiene el objetivo de presentar la metodología utilizada en Cuba

para estimar las pérdidas económicas producidas por los incendios forestales. Es el resultado de la experiencia acumulada en la práctica con metodologías similares y de trabajos investigativos realizados.

Métodos

Elementos metodológicos considerados para el diseño de la metodología

De acuerdo con Batista (2004) y Rodríguez (2010) los elementos importantes encontrados por ellos en distintas metodologías son los siguientes:

- Algunos autores (Oharriz, 1991 y González-Cabán 2000) tienen en cuenta la etapa de desarrollo de los árboles. Se demuestra que el fuego afecta más a un brinzal que a un latizal o fustal. También consideran para las estimaciones, que el brinzal aún no tiene volumen maderable aprovechable.
- Se considera aplicable el principio de persistencia de la masa. Es decir, que después del incendio no se transforma el monte en suelo urbano o agrícola (González-Cabán 2000).
- Consideran en los cálculos las pérdidas relacionadas con productos forestales no maderables tales como: leñas, corcho, resinas, frutos, semillas, pastos, caza, pesca, valores protectores y recreación (Vélez 2000 y Haltenhoff 2001).
- Utilizan los conceptos daños y perjuicios. Los daños están relacionados con lo que se ha perdido y los perjuicios se estiman por el valor potencial de la masa perdida por haberse tenido que aprovechar antes del final del turno a causa del incendio, es decir, por el sacrificio de cortabilidad (Vélez 2000).
- Para determinar las pérdidas indirectas (Haltenhoff 2001) introduce la idea de no considerarlas simplemente 4 ó 7 veces (Oharriz 1991) ó 10 veces (Soares 1985) mayores que las pérdidas directas, sino tener en cuenta el tamaño del incendio, la pendiente del terreno, la estructura de la vegetación, el tiempo de recuperación y el porcentaje de daño a la cubierta.
- Todas las metodologías (Oharriz 1991, Rodríguez 1998, Vélez 2000 y Haltenhoff 2001) tienen en cuenta la madera afectada por el fuego y la depreciación de la misma por este concepto en caso de que se pueda aprovechar en otros usos.
- Algunos autores (Vélez 1982 y Haltenhoff 2001) al tratar de cuantificar las pérdidas producidas por afectaciones a la madera consideran solo la que está en pie. Mientras que otros (Oharriz 1991 y Rodríguez 1998), tienen en cuenta también la madera talada que se encuentra en acopiaderos o dentro del bosque.

Metodología utilizada en Cuba para valorar las pérdidas económicas

De 1979 a 1998 se utilizó en Cuba una metodología que consideraba cuatro elementos: gastos por reforestación, gastos de m³ de madera afectada, gastos por limpieza del área y gastos en acciones de lucha. En 1999 se introdujo una nueva metodología resultado del Proyecto de Investigación desarrollado en la Universidad de Pinar del Río, “Manejo del fuego en los ecosistemas forestales”. A esta metodología se le adiciona, en el año 2001, como consecuencia del Proyecto de la FAO “Diseño de una estrategia para el control de los incendios forestales” desarrollado en el país, los elementos correspondientes para la evaluación de las pérdidas indirectas. Esta metodología, con algunas modificaciones resultantes de un trabajo realizado por Batista (2004) y Rodríguez (2010), es presentada a continuación:

La metodología considera tanto las pérdidas directas como las indirectas. La obtención de datos para la evaluación puede comenzar una vez extinguido el incendio. Esta actividad necesitará más o menos tiempo en dependencia de las dimensiones de la superficie afectada y sus características. El trabajo será realizado por un equipo integrado por especialistas de la empresa o entidad afectada, el Servicio Estatal Forestal (SEF) del municipio y el Cuerpo de Guardabosques (CGB), correspondiendo al SEF aprobar dicha estimación.

Pérdidas directas- se estiman por la ecuación siguiente (1):

$$P_d = (P_r + P_{mt} + P_{mp} + P_{ex} + P_{tp}) \quad (1)$$

donde P_d son las pérdidas directas, P_r son las pérdidas por reforestación, P_{mt} son las pérdidas por madera talada afectada, P_{mp} son las pérdidas por madera en pie afectada, P_{pnm} son las pérdidas por productos forestales no maderables, P_{ex} son las pérdidas por extinción, y P_{tp} son las pérdidas por trabajos de protección.

Pérdidas por reforestación- se incluyen los costos de todas las operaciones realizadas en el bosque afectado hasta el momento de ocurrir el incendio, según se expresa en la ecuación 2:

$$P_r = (S_t * K)(C_{pt} + C_{pp} + C_{pl} + C_{ac} + C_{ts}) \quad (2)$$

donde P_r son las pérdidas totales por reforestación, S_t es la superficie total afectada, K es el coeficiente de afectación (tanto por uno de la superficie afectada), C_{pt} es el costo de la preparación del terreno, C_{pp} es el costo de la producción de posturas, C_{pl} es el costo de la plantación, C_{ac} es el costo de las atenciones culturales, y C_{ts} es el

costo de los tratamientos silviculturales.

Los factores que determinan el comportamiento del fuego durante el desarrollo de un incendio forestal (topografía, material combustible y condiciones meteorológicas) se presentan siempre de forma diferente. Esto trae por consecuencia que generalmente los parámetros del comportamiento del fuego (intensidad lineal, altura de secado letal, tiempo de residencia, calor liberado por unidad de área, longitud de la llama, velocidad de propagación) no muestren valores uniformes para la totalidad de un área quemada. Excepto cuando se desarrolla un incendio de comportamiento extremo, el fuego provoca distintos grados de afectación de la masa a través de toda el área. Con el fin de no sobrevalorar las pérdidas producidas por el fuego, es conveniente determinar la superficie real afectada. Para determinar tanto la superficie total como la real afectada, deben observarse los puntos siguientes:

a). Para determinar la superficie total afectada por el incendio, primero debe hacerse un croquis del área utilizando alguno de los métodos conocidos tales como el uso de brújula y cinta, uso de GPS o delimitación sobre fotos aéreas. Posteriormente se hace el cálculo utilizando una plantilla de puntos, un planímetro polar, usando el método de las cuadrículas o por triangulación. Hoy día esta superficie es posible obtenerla también a través de imágenes de satélites.

b). La superficie real afectada se determina muestreando el 10 % del área. Se utilizarán parcelas de 100 m² distribuidas de forma sistemática. Cada parcela será clasificada de acuerdo a su grado de afectación. Para esto se tendrá en cuenta el grado de afectación de los árboles presentes en ellas, de acuerdo con la clasificación siguiente:

- Afectaciones ligeras: Aquellos árboles que solo han sufrido ligeras afectaciones en la corteza y/o en las primeras ramas.
- Afectaciones medias: Aquellos árboles cuyas copas han sido afectadas hasta un 60 % aproximadamente.
- Afectaciones totales: Aquellos árboles cuyas copas han sido afectadas completamente.

Las parcelas se clasifican de acuerdo al grado de afectación que supere el 70 % de los árboles en la misma. A continuación se hace la zonificación uniendo parcelas de igual grado de afectación. El área real afectada se corresponderá con las clasificadas como de afectaciones totales y medias.

Conociendo el área total y el área real afectada, se calcula el coeficiente de afectación (K), el cual no es más que el tanto por uno del área afectada.

Los costos de la preparación del terreno, de la producción de posturas, de la plantación y de las atenciones culturales, se obtienen en el Departamento de Economía de las distintas entidades.

Pérdidas por madera talada afectada- se considera el volumen de madera talada que estaba en acopiaderos o en el bosque y que fue afectada. Como en ocasiones esta afectación no es completa, es necesario considerar la madera que no fue afectada o que aún estando afectada, será vendida, lo cual debe hacerse a un precio inferior del que estaba previsto antes de ser afectada por el fuego. Se utiliza la ecuación siguiente (3):

$$P_{mt} = \sum_{i=n}^{i=n+1} (V * P_v) - (V' * P'_v) \quad (3)$$

donde P_{mt} son las pérdidas por madera talada afectada, n es el número de surtidos, V es el volumen total de madera talada que fue afectada por el fuego (m^3), P_v es el precio de la madera antes de ser afectada por el fuego ($\$/m^3$), V' es el volumen de madera que a pesar de sus afectaciones, será vendida a otro precio (m^3), y P'_v es el nuevo precio de venta ($\$/m^3$).

Pérdidas por madera en pie afectada- considera el volumen de madera en pie para bosques que estén en estado de desarrollo de fustal o latizal. Debe realizarse una evaluación para estimar el volumen por surtido. Durante el cálculo debe tenerse en cuenta si alguna cantidad de madera se vendió, aunque fuera a un precio inferior al establecido para cada surtido antes de ser afectada por el fuego. Para este cómputo se utiliza la ecuación 4:

$$P_{mp} = \sum_{i=n}^{i=n+1} (S_t * K * V * P_v) - (S_t * K * V' * P'_v) \quad (4)$$

donde P_{mp} son las pérdidas por madera en pie afectado, n es el número de surtidos, S_t es la superficie total afectada, K es el coeficiente de afectación (tanto por uno de la superficie afectada), V es el volumen total de madera en pie que fue afectada por el fuego (m^3/ha), P_v es el precio de la madera antes de ser afectada por el fuego ($\$/m^3$), V' es el volumen de madera que a pesar de sus afectaciones, será vendida a otro precio (m^3), y P'_v es el nuevo precio de venta ($\$/m^3$).

Pérdidas por productos forestales no maderables- se tienen en cuenta los distintos productos forestales no maderables existentes en la superficie afectada, tanto los que ya se utilizaban como los que estaba previsto utilizarse. Pueden mencionarse la resina, las semillas, el follaje, las flores, los frutos, los hongos, las plantas medicinales, etc. En el caso de la resina debe considerarse el volumen ya extraído y que se perdió o el que se pudiera obtenerse si el bosque afectado está apto para la extracción de la misma. La producción de semillas se valora si es una masa semillera. En este caso, se tendrá en cuenta el número de años que deben esperarse para que la nueva plantación que se realice en el lugar aporte la misma cantidad de semillas. Se

utiliza la ecuación 5 para este cálculo:

$$P_{pnm} = \sum_{i=n}^{i=n+1} (S_t * K * V_n * P_v) \quad (5)$$

donde P_{pnm} , son las pérdidas por productos forestales no maderables, n es el número de productos forestales no maderables, S_t es la superficie total afectada, K es el coeficiente de afectación (tanto por uno de la superficie afectada), V_n es el volumen o peso del producto n ($m^3 \cdot ha^{-1}$ ó $kg \cdot ha^{-1}$), y P_v es el precio de venta del producto n .

Pérdidas por extinción- puede tener un gran peso en la valoración de las pérdidas totales. El mismo incluye las pérdidas en que se incurre durante la extinción del incendio. Se tienen en cuenta los medios y las fuerzas participantes. En el primer caso el precio de una jornada de trabajo (8 horas) de uno de ellos ya está establecido a partir del desgaste del equipo y del salario del operador. En el segundo caso se utiliza el salario que como promedio se paga a un obrero forestal por jornada de trabajo. En el caso de medios y fuerzas del Cuerpo de Guardabosques (CGB) no se tendrán en cuenta el alquiler de los medios y el salario de los trabajadores siempre que el trabajo no se realice fuera de la jornada diaria de trabajo. Para el resto de los medios y fuerzas debe controlarse el tiempo que participan en las operaciones de extinción durante su jornada laboral habitual. Fuera de ésta jornada no se hacen valoraciones debido a que la participación es voluntaria. Todo esto puede registrarse si el jefe de la extinción responsabiliza a alguna persona con la tarea. Se utilizará la ecuación siguiente (6):

$$P_{ex} = C_c + C_{al} + \sum_{i=n}^{i=n+1} (J_t * C_n) \quad (6)$$

Donde P_{ex} son las pérdidas por extinción, n es el número de medios, C_c es el costo total del combustible consumido, C_{al} es el costo total de la alimentación, J_t son las Jornadas de trabajo, y C_n el Costo por el uso de los medios o por concepto de salario.

Pérdidas por trabajos de protección- considera tanto la media del costo de las distintas actividades de protección como la edad del arbolado. El cálculo se hace de acuerdo con la ecuación 7:

$$P_{tp} = (S_t * K * C_p) \quad (7)$$

donde P_{tp} son las pérdidas por trabajos de protección, S_t es la superficie total afectada, K es el coeficiente de afectación (tanto por uno de la superficie afectada), y C_p es el costo total de protección.

Pérdidas indirectas- se utiliza la ecuación siguiente (8):

$$P_i = P_d \left(\frac{t + p + e + r + d}{5} \right) \quad (8)$$

donde P_d son las pérdidas directas, t es el factor del tamaño del incendio, p es el factor por la pendiente del terreno, e es el factor por la estructura de la vegetación, r es el factor por el tiempo de recuperación de la cobertura vegetal, y d el factor por el porcentaje de daño a la cubierta vegetal

En la tabla 1 se muestran los factores que deben utilizarse en cada caso (Herbert y otros 2001).

Tabla 1—Factores (F) por variable en cada elemento.

Tamaño del incendio (t) (ha)		Pendiente del terreno (p) (%)		Estructura de la vegetación (e)		Tiempo (años) de recuperación (r)		% de daño a la cubierta (d)	
Variables	F	Variables	F	Variables	F	Variables	F	Variables	F
< 10	1	< 15	1	Praderas	1	Anual	1	< 25	1
10 - 50	2	15 a 25	2	Matorral	2	< 5	2	25 - 50	2
50 - 500	5	25 a 35	5	Plantación	5	5 - 10	5	50 - 75	5
> 500	10	> 35	10	B. natural	10	> 10	10	75 - 100	10

Resultados

Con el fin de demostrar la factibilidad de la utilización de la metodología presentada en epígrafes anteriores, se desarrolla en este punto un ejemplo práctico de su utilización.

La metodología ha sido aplicada a un área afectada por un incendio en la Empresa Forestal Pinar del Río. El fuego fue originado por un rayo y afectó 6 ha de una plantación de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* con edad de 25 años. El sitio es de calidad II y el terreno ondulado con pendientes entre 15 y 20 %. El marco de plantación utilizado fue de 2 x 2 m. La preparación del terreno y el suelo se hizo de forma mecanizada. En esta plantación, antes del incendio, se habían realizado una chapea, dos ruidos, una fertilización y un raleo en condiciones de trabajo clasificadas como regulares. Esta plantación próximamente iba a ser resinada y en dos hectáreas de la misma se recolectaban todos los años como promedio 50 kg de semillas por hectárea. El fuego también afectó de forma total 10 m³ de madera en bolo de *P. caribaea* ubicados en un acopiadero. En el combate del incendio participaron un buldócer 5 horas, dos camiones un total de 18 horas y 35 hombres no pertenecientes al Cuerpo de Guardabosques un promedio de 4 horas cada uno. La comisión

encargada de recomendar el manejo a dar al área para su rehabilitación consideró que la misma no se iba a recuperar, por lo que debía ser talada y aprovechar la madera, ofertándola a un precio un 10 % inferior a su precio actual. En las tablas 2 y 3 se muestran los datos necesarios para el cálculo.

Tabla 2—Costo de las actividades de la silvicultura y del alquiler de los medios mecanizados

Actividades de la silvicultura & Uso de fuerzas y medios mecanizados	Costos (Pesos)
Desbrozar 1 ha para plantación de forma mecanizada en suelo ondulado	11000,00
Producir en vivero 1 millar de posturas	58,11
Plantar 1 ha con <i>P. caribaea</i> a un marco de plantación de 2 X 2 m en terreno ondulado	88,36
Chapea de 1 ha de plantación en condiciones regulares de trabajo	356,67
Hacer ruedo a 1 ha plantada a 2 X 2 m en condiciones regulares de trabajo	170,34
Fertilizar 1 ha de plantación en condiciones regulares de trabajo	151,34
Realizar raleo a 1 ha de <i>P. caribaea</i> en condiciones regulares de trabajo	786,94
Trabajos de protección en 1 ha de conífera cada año	3060,00
Una jornada de trabajo (8 horas) de un buldócer	12,46
Una jornada de trabajo (8 horas) de un camión	13,40
Una jornada de trabajo (8 horas) de un hombre	12,92

Tabla 3—Precio de los distintos productos

Productos	Precios (Pesos)
1 m ³ de madera en bolo de <i>P. caribaea</i>	73,30
1 m ³ de madera rolliza de <i>P. caribaea</i>	40,60
1 tonelada de resina de <i>P. caribaea</i>	784,05
1 kg de semilla de <i>P. caribaea</i>	85,50

Otros datos-

- El *P. caribaea* en sitio de calidad II, a los 25 años tiene un volumen de 334,16 m³.ha⁻¹. El 98 % corresponde a madera en bolo y el 2 % a madera rolliza.
- Una resinación debe producir un rendimiento de 320 kg.ha⁻¹. Esta especie a los 25 años debe tener un diámetro de 40,65 cm, por lo que puede resinarse dos veces.

Para aplicar la metodología descrita en este trabajo se tuvieron en cuenta las consideraciones siguientes:

- Para plantar 1 ha a un marco de plantación de 2 x 2 m se necesitan 2 500 posturas, es decir, 2,5 millares
- El rendimiento de semillas promedio por hectárea es de 50 kg por año y una plantación de *P. caribaea* para alcanzar la producción que se obtenía en el momento del incendio debe tener al menos 15 años, por lo que se dejaron de cosechar 1500 kg de semillas
- El estimado de madera en pie afectada fue de 1376,86 m³ de madera en bolo y 28,1 m³ de madera roliza.

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores de las pérdidas directas.

Table 4—Pérdidas calculadas para cada indicador

Indicadores	Pérdidas (Pesos)	%
Pérdidas por reforestación	77215,56	10,16
Pérdidas por madera talada afectada	733,00	0,10
Pérdidas por madera en pie afectada	91858,22	12,08
Pérdidas por productos forestales no maderables	131250,56	17,26
Pérdidas por extinción	264,03	0,03
Pérdidas por trabajos de protección	459000,00	60,37
Total	760321,37	100,00

Las pérdidas indirectas se calcularon asignando los factores de la tabla 1. De acuerdo con esto los factores utilizados fueron los siguientes:

- Tamaño del incendio: 1
- Pendiente del terreno: 2
- Estructura de la vegetación: 5
- Tiempo (años) de recuperación: 10
- Porcentaje de daño a la cubierta: 10

De acuerdo con lo anterior las pérdidas indirectas ascienden a 4 257 799,67 pesos. Estas pérdidas son 5,59 veces superiores a las pérdidas directas. Según esta metodología, en cada caso este valor va a cambiar. Es decir, que estas pérdidas no serán 5, 7 o 10 veces superiores a las pérdidas directas.

Las pérdidas totales provocadas por este incendio ascienden a 5 018 121,04 pesos, aproximadamente unos 240 331,47 dólares de Estados Unidos.

Discusión

En la tabla 4 se observa que el mayor valor de las pérdidas directas corresponde al dinero invertido cada año en los trabajos de protección. No obstante, puede comentarse que si en la práctica todo ese financiamiento fuera utilizado racionalmente y sobre bases objetivas en actividades de protección, las hectáreas de bosques afectadas por el fuego serían menores. En la actualidad existen vías de acceso en mal estado, lo cual dificulta la llegada de las fuerzas y medios de combate a lugares alejados. Tampoco se desarrollan trabajos de silvicultura preventiva tales como reducción de material combustible, o construcción y mantenimiento de cortafuegos, incluyendo entre ellos a las barreras vivas o fajas verdes y a las podas artificiales.

El segundo mayor valor de las pérdidas directas es el correspondiente a los productos forestales no maderables. Esto demuestra una vez más que lo más importante en el bosque no es precisamente su madera. Además de los productos forestales no maderables, son importantes también, entre otros, servicios tales como la protección de las aguas y los suelos, conservación de la diversidad biológica, y como sumideros de carbono, elementos que esta metodología no considera.

Mención aparte merecen las pérdidas indirectas, generalmente subvaloradas, y que en esta metodología se estiman de una forma muy interesante.

Sumario

En este trabajo se presenta la metodología utilizada en Cuba para estimar las pérdidas económicas producidas por los incendios forestales. Es el resultado de la experiencia

acumulada en la práctica con metodologías similares y de investigaciones realizadas. Para estimación las pérdidas directas se utilizan los indicadores pérdidas por reforestación, pérdidas por madera talada afectada, pérdidas por madera en pie afectada, pérdidas por productos no maderables, pérdidas por extinción, y pérdidas por trabajos de protección. Las pérdidas indirectas se estiman a partir de la asignación de factores a las variables tamaño del incendio, pendiente del terreno, estructura de la vegetación, tiempo de recuperación de la cobertura vegetal, y porcentaje de daño a la cubierta vegetal. La aplicación de la metodología en una superficie de 6 ha cubiertas por una plantación de *Pinus caribaea* Morelet, var. *caribaea*, permitió estimar pérdidas totales de 5 018 121,04 pesos cubanos (240 331,47 USD).

Referencias

- Batista, N. 2004.** Evaluación ambiental de los efectos producidos por los incendios forestales. Trabajo de Diploma. Universidad de Pinar del Río. Cuba.
- Cortón, A.M. 2006.** Los incendios forestales en Cuba. En: Memorias del IV SIMFOR y I Taller Internacional sobre Manejo del Fuego (ISBN 959 – 16 – 0408 – 4).
- González-Cabán, A. 2000.** La medición del daño. En: La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y Experiencias. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. España. 5.1 – 5.10 pp.
- Haltenhoff, H. 2001.** Evaluación del Daño de los Incendios Forestales: Una Perspectiva Económica. Diseño de una Estrategia para el Combate de los Incendios Forestales. La Habana. Cuba, 24 p.
- Oharriz, S. 1991.** Protección contra incendios forestales. Editorial Pueblo y Educación. Cuba. 76 p.
- Rodríguez, M.P.R. 1998.** Metodología para la obtención y reporte de la información estadística sobre incendios forestales. Resultado del Proyecto 03302005 “Manejo del Fuego en los Ecosistemas Forestales”. Universidad de Pinar del Río.
- Rodríguez, M.P.R. 2010.** Manejo del fuego. Editorial Félix Varela, la Habana, 243 p.
- Soares, R.V. 1985.** Incêndios Florestais. Controle e uso do Fogo. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. Curitiba. 213 p.
- Vélez, R. 1982.** Defensa contra incendios en el medio natural. Tratado del Medio Natural. Tomo IV. Universidad Politécnica de Madrid. España. 293 - 348 pp.
- Vélez, R. 2000.** Evaluación de pérdidas económicas y estimación del impacto ambiental de los incendios forestales. En: La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y Experiencias. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. España. 5.11 – 5.20 pp

VISUAL-SEVEIF, Una Herramienta Para la Integración de la Simulación del Comportamiento del Fuego y la Evaluación Económica del Impacto de los Incendios Forestales¹

Francisco Rodríguez y Silva¹, Juan Ramón Molina Martínez², Miguel Ángel Herrera Machuca¹, y Jesús M^a Rodríguez Leal²

Resumen

Los avances producidos a lo largo de los últimos años en la ciencia del fuego, aplicada a la defensa contra los incendios forestales, junto con el incremento de potencia ofrecida por los procesadores matemáticos integrados en las computadoras, ha permitido desarrollos importantes en el campo de la simulación dinámica y estática de incendios forestales. Por otra parte y de igual modo, los modelos econométricos aplicados a los estudios de evaluación económica de los recursos naturales, han generado algoritmos de gran consistencia científica que han permitido resolver la determinación del valor monetario de recursos que no han tenido de forma tradicional un tratamiento de interacción comercial o de mercado.

Visual-Seveif, se conforma como una herramienta informática que permite trabajar tanto en tiempo real, simulando el desarrollo espacial de fuegos de superficie y de copa, como abordar la ejecución de estudios territoriales de carácter potencial, mediante los cuales determinar y caracterizar las posibles evoluciones de los incendios, sujetos a condiciones finales de contorno espacial o temporal. La resolución espacial de trabajo vendrá condicionada por la calidad y precisión de la cartografía de modelos de combustibles, así como por las características del modelo digital del terreno, por lo que en modelos de alta precisión los resultados de la dinámica del comportamiento del fuego pueden llegar a ser de un metro cuadrado.

Entre las capas de información requeridas por la herramienta, se encuentra la que incorpora la caracterización de los recursos naturales, que existentes en la zona objeto del análisis, permite determinar la evaluación económica derivada de la existencia de los

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación, y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, 5-11 de noviembre, 2012, Ciudad de México, México.

² Laboratorio de Defensa contra Incendios Forestales. Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes. Universidad de Córdoba, Edificio Leonardo da Vinci. Campus de Rabanales. 14071 Córdoba España. Correo electrónico: ir1rosif@gmail.com.

² Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática. Universidad de Sevilla.

recursos. Visual-Seveif, integra el conocimiento del comportamiento del fuego y su efecto directo sobre la depreciación de los recursos naturales, proporcionando el valor total de las pérdidas en el área o superficie afectada por el incendio forestal, así como el valor de las pérdidas por cada uno de los recursos naturales identificados en el interior del perímetro del incendio. Las posibilidades de importación y exportación de perímetros geo-referenciados, tanto en formatos vectorial como raster, permite fácilmente el volcado de la información generada hacia sistemas de información geográficos (SIG). Visual-Seveif, posibilita la realización de estudios de diagnóstico del territorio dirigidos hacia la prevención y gestión estratégica de la defensa frente a los incendios forestales.

Palabras clave: Gestión estratégica, prevención de incendios, recursos naturales, SIG, valoración servicios ambientales

Introducción

Los incendios forestales constituyen actualmente unos de los mayores problemas medioambientales, generando importantes consecuencias tanto en lo relativo a la afectación y deterioro del paisaje forestal, como en su depreciación y valoración económica y social. El abandono de los escenarios forestales, como áreas habitadas e intervenidas por las acciones de carácter antrópico relacionadas con la subsistencia y aprovechamiento energético, viene generando a lo largo de los últimos decenios, un incremento en la acumulación de biomasa altamente energética (Rodríguez y Silva, Molina, 2010), (Vélez, 2009). Circunstancia que acompañada de la acentuación de las condiciones climatológicas (Piñol y otros 1998), han provocado una elevación en el potencial energética emitido por el fuego y en consecuencia en la virulencia de los incendios forestales, representando ello un aumento de los daños provocados por el fuego sobre los recursos naturales y el medio circundante.

La necesidad de disponer de información de carácter estratégica, en relación a la potencialidad dinámica, energética y expansiva de las carreras de fuego, propició el inicio en el desarrollo de los simuladores tanto analíticos, como gráficos. El avance del conocimiento sobre la ciencia del fuego ha permitido abordar los estudios de predicción y simulación, facilitando ello su aplicación en las actividades de defensa contra los incendios forestales.

El nivel tecnológico actual viene a ofrecer oportunas herramientas en las que la predicción y simulación permiten realizar con eficacia los planes de ataque dentro del criterio de atención prioritaria a la seguridad, con lo que se puede concluir que la predicción y simulación es hoy una permanente necesidad en la defensa de las áreas forestales contra los incendios. Además, el ejercicio de la predicción y simulación permite disminuir los tiempos requeridos para alcanzar el control, a la vez que facilita

economía de costes al proporcionar información de gran importancia para la distribución eficiente de los medios de combate.

Si bien se han alcanzado logros importantes en la calidad y veracidad de los pronósticos del comportamiento del fuego a lo largo de los últimos años, aún quedan importantes incertidumbres que resolver en relación a la simulación de fenómenos complejos como pueden ser la retroalimentación energética, el efecto de las turbulencias en las aceleraciones, así como la transición y propagaciones del fuego de superficie al dosel arbolado. Con independencia de los futuros avances en el conocimiento del comportamiento dinámico del fuego, surge otra importante necesidad en la gestión del paisaje forestal frente a los incendios, quedando ésta identificada a través de los aspectos monetarios y por tanto presupuestarios. En efecto, es indiscutible que toda aplicación de un modelo de gestión de la defensa contra los incendios forestales, va unido de forma indisoluble a la disponibilidad presupuestaria y por consiguiente al establecimiento de criterios que permitan, fijando prioridades, determinar los niveles de inversión para acometer la aplicación del modelo de gestión.

Esta reflexión pone de manifiesto la importancia de los estudios, investigaciones y desarrollos que permitan aplicar criterios econométricos a la toma de decisión. En la actualidad se dispone de novedosas herramientas, como el modelo econométrico SINAMI que permiten analizar en el contexto del territorio y con carácter de planificación estratégica, la asignación más eficiente de los presupuestos, considerándose para ello: los antecedentes históricos en la frecuencia y distribución de los incendios, las condiciones del comportamiento del fuego, el valor económico de los recursos naturales y las capacidades operacionales de los medios de extinción (Rodríguez y Silva, y otros 2010). Ahora bien, la disponibilidad de este modelo y de su programa informático ECONOSINAMI (Rodríguez y Silva. 2009. Rodríguez y Silva, y González-Cabán, 2010) no resuelve de forma integrada la simulación expansiva del comportamiento del fuego y la evaluación económica de los daños y perjuicios que potencialmente puede llegar a generar el incendio simulado. En el presente trabajo se muestra la estructura y la línea de flujo operacional de la primera herramienta de simulación que incorpora la evaluación de las pérdidas económicas que ocasiona el fuego en función del nivel de intensidad lineal que desarrolla el fuego (kw/m) por cada píxel de resolución espacial con la que se realiza la simulación.

El modelo Visual-Seveif, ha sido determinado realizando la integración en el programa Visual-Cardin (Rodríguez y Silva, 1999. Rodríguez y Silva y otros 2010) del conjunto de algoritmos correspondientes al modelo SEVEIF (Molina y otros 2008, Rodríguez y Silva y otros 2007, 2010), que fueron desarrollados para la determinación y evaluación del impacto del fuego en los recursos naturales en función de los niveles de intensidad emitidos por la propagación del incendio. Este

modelo ofrece en tiempo real la evaluación económica de las pérdidas, a partir de la depreciación post-fuego de los recursos naturales afectados.

Las valoraciones de los recursos naturales tienden a minorizar el valor real del bosque (Constanza y otros 1997). A diferencia de la actividad económica tradicional, el medio forestal se caracteriza por la extraordinaria relevancia de las externalidades que comportan perjuicios o beneficios a terceros de considerable magnitud. Desde el punto de vista socioeconómico, es necesario plasmar todos los recursos naturales en términos monetarios. La valoración de daños y perjuicios provocados por los incendios forestales requiere del estudio individualizado de cada uno de los recursos (tangibles e intangibles) y el cambio del valor neto de los mismos en relación a la severidad del fuego y a la resiliencia del ecosistema (Molina y otros 2009).

El reconocimiento y valoración de los recursos naturales es fundamental para la planificación espacio-temporal de las labores preventivas y de restauración post-fuego (Molina 2008). La incorporación del concepto de vulnerabilidad extiende el estudio más allá de un trabajo de valoración económica, integrando dos conceptos, por un lado el valor del recurso y por otro el comportamiento del fuego. La integración de ambos conceptos se realiza mediante una matriz de ratios de depreciación en base a la longitud de las llamas, denominada “matriz de depreciación” (Molina y otros 2011; Rodríguez y Silva y otros 2012).

El modelo de vulnerabilidad socioeconómica se ha realizado mediante la configuración de un algoritmo matemático asociado a un sistema de información geográfico (SIG) facilitando la elaboración de cartografía de seguimiento espacio-temporal, tanto a nivel de recurso individual como a nivel de la vulnerabilidad integral del ecosistema. La automatización del cálculo y gestión mediante SIG se está realizando bajo el marco del proyecto INFOCOPAS (RTA2009-00153-C03-03) financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), a fin de alcanzar de forma versátil un conocimiento geo-referenciado a tiempo prácticamente real de la vulnerabilidad del sistema forestal frente a incendios forestales.

Metodología

El proceso seguido en la definición y desarrollo de la arquitectura operacional del programa Visual-Seveif, ha estado determinado por las siguientes fases:

- Revisión de la estructura informática del simulador Visual-Cardin, con el objetivo de localizar la posición de ensamble del módulo de evaluación económica, en la línea de flujo del programa.
- Selección de los recursos naturales que son considerados para ser evaluadas las pérdidas en función de los niveles de intensidad energética que pueda desarrollar el fuego en los incendios simulados.

- Programación de los algoritmos de evaluación económica mediante el lenguaje informático C++.
- Desarrollo de las ventanas interactivas entre el programa Visual-Seveif y el usuario. Determinación de las variables de entrada o input que deberán ser cumplimentadas para poder realizar los cálculos.
- Implementación de las opciones de evaluación económica que incluye el programa Visual-Seveif:
 - 1.- Cálculo del valor monetario de los recursos naturales localizados en el interior de una zona o comarca (área incluida en el interior de un polígono, tanto rectilíneo como curvilíneo). Esta opción permite conocer el valor económico de las existencias.
 - 2.- Cálculo de las pérdidas económicas, así como la depreciación en el valor económico de los recursos a consecuencia de la propagación del fuego. En esta fase se aplica el procedimiento recogido en el modelo SEVEIF (Rodríguez y Silva y otros 2010), mediante el uso de la “matriz de factores de depreciación económica”.
- Asignación de la tabla de valores para los diferentes parámetros incluidos en los algoritmos de evaluación económica, en relación con los tipos de modelos de combustibles.
- Diseño y elaboración final de las ventanas para la introducción de datos, realización de cálculos y presentación de resultados.
- Validación de resultados con valoraciones disponibles en la base de datos de incendios registrados.

Arquitectura del simulador Visual-Cardin.

Los desarrollos tecnológicos alcanzados en el campo de la informática han permitido la elaboración de programas de simulación de gran versatilidad y utilidad, ofreciendo multitud de opciones como herramientas que proporcionan una gran ayuda a la toma de decisión. En este sentido la defensa contra los incendios forestales necesita acudir a programas especializados que faciliten información acerca de los pronósticos del comportamiento dinámico del fuego asociado a los incendios que evolucionan en los distintos sistemas forestales. En este sentido el programa Visual-Cardin, se estructura como un programa de carácter determinístico que trabaja sujeto a las siguientes condiciones:

- Modelo de simulación mediante autómata celular, usando vecindad de Moore.
- Consideraciones:
 1. Topografía del terreno

2. Modelo de combustibles en cada píxel (celdilla).
 3. Altura de los árboles, de la base de las copas, y densidad de las copas.
 4. Humedades y grado de protección de los combustibles.
 5. Dirección e intensidad del viento.
 6. Temperatura y humedad ambiental.
- La velocidad y dirección de máxima propagación en cada punto se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\varphi = (V_0 + V_i \cdot \cos W) \cdot t \quad (1)$$

Donde V_0 es la velocidad de propagación con viento y pendiente cero, V_i es el incremento de velocidad en la dirección de máxima propagación debido a los efectos combinados del viento y de la pendiente, φ es el radio de propagación desde el origen del incendio, W representa el ángulo formado con la máxima dirección de propagación $V_i > V_0$,

La figura geométrica adoptada para modelar la expansión superficial de la figura del incendio es una cardioide. El exceso de anchura sobre la figura elíptica de referencia se corrige por un factor (en sentido perpendicular al de máxima propagación). Este factor es el cociente entre el ancho máximo proporcionado por la simulación realizada mediante Behave (Andrews 1986) y ancho máximo de la figura teórica producida mediante la geometría de la cardioide. El valor del ancho máximo es determinado mediante la expresión (Martínez –Millán 1990, Martínez-Millán y otros 1991, Caballero y otros 1994):

$$F = (3V_0 + (V_0^2 + 8V_i^2)^{0.5}) (4V_i^2 - 2V_0^2 - V_0 \times (V_0^2 + 8V_i^2) / 16V_i^2) \quad (2)$$

Los parámetros de entrada requeridos por el programa para realizar la simulación, son introducidos a través del módulo *parámetros*, éste permite a través de un conjunto de comandos la inclusión de los datos asociados a las características locales. Mediante el comando *vientos*, se introducen las características de velocidad y dirección del viento medido a seis metros sobre el terreno. Mediante el comando *humedades*, se ofrece la posibilidad de asignar la humedad tanto de los combustibles vivos como muertos, clasificados éstos últimos en función de sus características geométricas. Como alternativa, la humedad de los combustibles finos muertos, puede ser obtenida a partir de un conjunto de cálculos basados en datos tales como la fecha, efectos de la meteorología, el terreno y el estado vegetativo. El comando *protección*, permite asignar el grado de protección del combustible frente al viento. La opción del comando *residencia*, establece los tiempos de residencia de llama y brasas,

permitiendo realizar asignaciones a cada uno de los distintos modelos de combustibles. El ajuste de datos de entrada mediante este comando permite realizar la simulación del fenómeno de reavivamiento a partir de incrementos en las velocidades del viento. El programa reconoce en la simulación, aquellos escenarios en los que dándose las condiciones de transición del fuego de superficie a la copa de las masas arboladas, se produce un desplazamiento de la combustión hacia el dosel y en consecuencia se propaga el fuego a través de la copa de los árboles. Es decir se reconoce las posibilidades y si las condiciones lo permiten se producen las propagaciones de superficie, mixta y de copa. Esta posibilidad ofrece sin duda una gran versatilidad y exactitud en la determinación del impacto económico por efecto del fuego, al poder recoger los fuertes incrementos energéticos asociados a la propagación por dosel arbolado y de esta forma poder relacionarlo con los daños y pérdidas que se generan.

La realización del análisis post-incendio, con el fin de reconstruir el comportamiento del fuego y comprobar los resultados obtenidos por los distintos planes de ataque aplicados para conseguir la extinción del incendio, es otra de las posibilidades que ofrece el simulador. Esta opción permite cualificar los informes finales de los incendios a la vez que se evalúan los rendimientos de los distintos medios emplazados. En esta misma utilidad se puede enmarcar la posibilidad de aplicación para los cursos de formación y entrenamiento en dirección técnica de la extinción y comportamiento del fuego.

De los resultados obtenidos mediante la simulación, se puede construir una base de datos en la que se pueden interrelacionar la superficie afectada simulada en evolución libre de la propagación dinámica, es decir sin la inclusión de acciones de combate, y la superficie real final obtenida tras la extinción del incendio. El cociente entre ambas superficies determina la tasa de control de propagación. Este parámetro facilita la elaboración de bases informativas acerca de las experiencias registradas en los planes de extinción elaborados y aplicados. Ello permite disponer de un archivo de consultas de aquellos incendios que puedan ocurrir en un futuro y evolucionen bajo condiciones ambientales similares.

A partir de este conocimiento histórico se pueden iniciar las simulaciones del combate en el conjunto de los recursos que se han de activar para controlar y extinguir el incendio forestal. En la medida que la integración de los algoritmos de evaluación económica en la arquitectura del programa Visual-Cardin ha posibilitado el cálculo de las pérdidas económicas, la obtención del modelo Visual-Seveif, abre una ventana a la posibilidad de realizar cálculos y relaciones que vinculen las operaciones de extinción y sus costes, con el valor de los recursos naturales y las pérdidas económicas derivadas de las propagaciones. Sin duda los estudios de eficiencia sobre los resultados de las operaciones de extinción ayudarán en la

definición de las opciones presupuestarias y los mejores resultados en la planificación de la defensa contra los incendios forestales.

La versión actual responde a una programación en C++ bajo sistema operativo Windows, si bien en breve estará también disponible para el sistema operativo linux, e incluye mejoras considerables en el tratamiento de la información pixel a pixel, facilitando información de mayor precisión en lo referente a las características de la propagación, (velocidad de propagación, intensidad lineal del frente de avance y longitud de llama).

El entorno gráfico ha sido también tenido en cuenta al objeto de facilitar mayores opciones cartográficas, pudiendo realizarse la simulación sobre coberturas raster del mapa topográfico a diferentes escalas. Permite la exportación de los perímetros en formato raster y vectorial, así como la importación de perímetros de incendios o áreas del territorio, medidos con GPS e igualmente en formato vectorial. Se muestra a continuación el aspecto de la ventana de presentación de resultados, incluyéndose el área recorrida por el incendio en color amarillo (figura nº: 1).

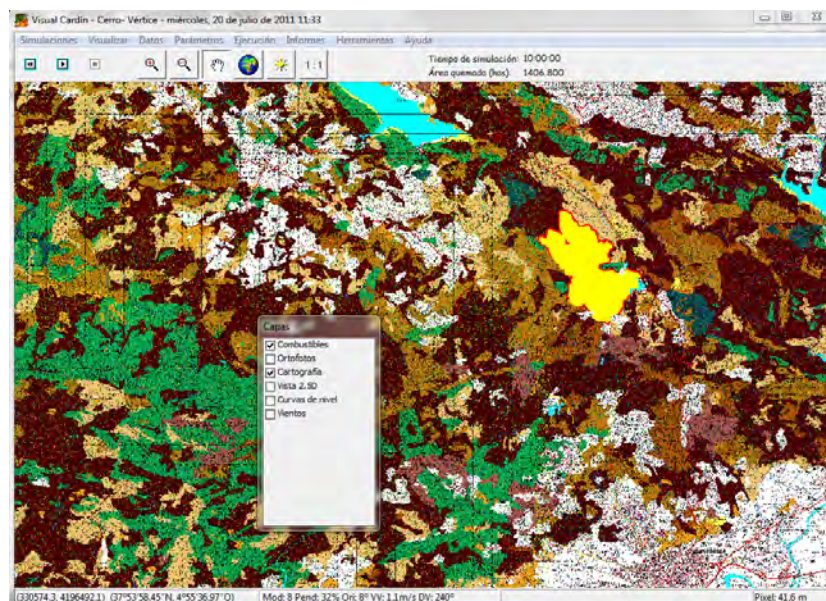


Figure 1—Simulación y análisis del comportamiento del fuego mediante el programa informático Visual-Cardin, correspondiente al incendio forestal de Cerro-Vértice (2011. Córdoba. España).

Valoración económica de los recursos naturales. Modelo Seveif

En la primera versión del simulador Visual-Seveif, se han incorporado los algoritmos de mayor importancia, correspondiente a los recursos naturales que tienen alta

representatividad en los escenarios forestales y que con el desarrollo del modelo SEVEIF (Rodríguez y Silva y otros 2010), fueron identificados como tales.

La valoración económica de los recursos naturales considerados, son la de los siguientes:

- recursos tangibles, servicios ambientales y bienes paisajísticos. La valoración de los recursos tangibles incluye productos madereros y productos no madereros. El procedimiento metodológico para la valoración del impacto sobre el recurso maderero se basa en un algoritmo integrador de las herramientas de valoración, que incluyen tanto la procedencia de origen natural como artificial del arbolado (Rodríguez y Silva y otros 2012). La valoración de los recursos no madereros se fundamenta en las expresiones del Manual de Valoración de Pérdidas y Estimación del Impacto Ambiental por Incendios Forestales (Martínez Ruíz, 2000). La evaluación del impacto sobre el recurso cinegético se realiza a través de la adaptación propuesta en Zamora y otros 2010.
- La valoración de los servicios ambientales incluye tres recursos: fijación de carbono, control erosivo y biodiversidad faunística. La valoración de la fijación de carbono comprende tanto la cantidad fijada hasta el momento de la ocurrencia del incendio, como la cantidad sin fijar a partir de dicho momento, siendo necesario para ello el conocimiento previo del volumen con corteza, biomasa aérea e incremento anual (Tabla 1). La cantidad de carbono correspondiente a la biomasa seca se estima en el 50%. El control de la erosión será expresado en renta económica pérdida en base a la cantidad potencial de suelo perdido por unidad de superficie. La expresión utilizada para la valoración (Tabla 1) incorpora un sumando en relación con las pérdidas sufridas durante las primeras lluvias (suelo desnudo) y un segundo sumando que incluye las pérdidas de suelo progresivas hasta la recuperación de una vegetación con similar protección a la quemada (Molina y otros 2009). La valoración de la biodiversidad faunística o de especies singulares se realiza mediante el coste de los programas de recuperación de las especies, o en caso de no disponer de programa específico, mediante el método de la valoración contingente (Molina, 2008).

Tabla 1—Formulaciones matemáticas utilizadas para la valoración económica

Recurso	Fórmula	Estado del recurso	Fuente
Maderero	$V_{mad} = (1,7 * E * B) / (E + 0,85 * B)$	Maduro e inmaduro	Rodríguez y Silva y otros 2012
	$E = C_0 * p [i^e + g(i^e - 1)] + A * (i^e - 1)$	Inmaduro	
	$E = (C_0/z) * t [i^e + g(i^e - 1)] + (C_0/z) * 0,5 * (i^e - 1)$	Latizal	
	$E = [P * V - P_1 * V_1] + P * V [(i^{(T-e)} - 1) / (i^{(T-e)})]$	Fustal	
	$B = [(V * P * 1,025^n) / 1,04^n] * [1 - (1,025 / 1,04)^e] * [1 + X * h * p]$ $B = V * h * t [R * P + (1 - R) * P_1]$	Inmaduro 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	$V_{carb} = CF * PM + IF * PM * RC * [((1+i)^{T-e} - 1) / (i * (1+i)^{T-e})]$	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;	$V_{biod/pai/oci/nouso} = R_x * [((1+i)^n - 1) / (i * (1+i)^n)]$	Presencia especies singulares	Molina, 2008
Recurso ocio y recreo; Recurso no uso			

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 m³/ha, P es el precio del m³ 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, P₁ es el precio de la madera dañada con aprovechamiento comercial (€/m³), V₁ es el volumen de madera dañada con aprovechamiento (m³/ha), P_x es el precio por unidad de medida del recurso (€), R_x es la renta anual por unidad de superficie, S es el stock reproductivo por unidad de superficie (€), CF es la cantidad de CO₂ retenida en el momento del incendio (t/ha), PM es el precio de la tonelada fijada (€/t), IF es el incremento anual de CO₂ retenido (t/ha), RC es la renta generada al fijar una tonelada de carbono en un año (€), R₁ es la cantidad de suelo media perdida el primer año (t/ha), P₁ es el precio estimado para la tonelada (€), R₂ es la cantidad de suelo media perdida hasta la recuperación de la cobertura original (t/ha).

Identificación espacial de los diferentes niveles de afectación y del cambio neto en el valor de los recursos

La determinación de las pérdidas en los recursos naturales, tanto tangibles como intangibles, requiere conocer el valor remanente de los recursos, es decir, el "cambio neto en el valor de los recursos". Este concepto requiere de la incorporación de la

depreciación de los recursos en base al nivel de intensidad del fuego. La asignación de la depreciación de cada recurso en función del nivel de intensidad del fuego se realiza en base a ratios de depreciación o niveles porcentuales, dada su mayor sencillez y aplicabilidad práctica.

En el caso del recurso maderero y del aprovechamiento de leñas, y bajo el marco de los proyectos de investigación FIREMAP, SINAMI e INFOCOPAS, se tomaron parcelas circulares de 10 m de radio para diferentes tipologías vegetales y grados de afectación en los siguientes incendios: Huetor (1993), Aznacollar (1995), Estepona (1995), Los Barrios (1997), Cazorla (2001,2005), Aldeaquemada (2004), Minas de Río Tinto (2004), Alajar (2006), Gaucin (2006), Obejo (2007), Orcera (2009) y Cerro Vértice (2011). En el caso de la valoración de las pérdidas sobre el recurso cinegético se utilizó información del Parque Nacional de Monfragüe y de los incendios de Aldeaquemada y Minas de Río Tinto (Zamora y otros 2010), con el fin de disponer de un análisis no sólo espacial sino también temporal, de la recuperación natural del stock reproductor, y en consecuencia, de las rentas anuales generadas por el recurso cinegético.

Los niveles de depreciación de los recursos de fijación de carbono y de control de la erosión fueron estimados en base a la mortalidad del arbolado y al nivel de consumo de la biomasa aérea, a partir de mediciones efectuadas en árboles quemados y no quemados, con similares características dendrométricas (incendios de: Monte Catena, 2009, Obejo 2007, Cazorla 2001, 2005). La valoración económica de los daños erosivos, o conversión de biomasa pérdida a unidades monetarias, se determinó en base al estudio realizado en el incendio de Obejo (2007), donde se analizaron los costes asociados a la pérdida de diferentes cantidades de suelo (toneladas por hectárea). En el caso de la biodiversidad, la valoración de daños se realiza en base al "valor subrogado" aplicado por la Administración (programas de recuperación y/o conservación) o al valor concedido por la población (valoración contingente). Los valores obtenidos para este recurso incluyen ajustes en base a los costes post-fuego invertidos por las Administraciones responsables, para evitar la huida y migración de las especies mediante la aplicación de medidas de suplementación alimentaria, eliminación de depredadores y reducción de competencia, (Molina, 2008).

Los ratios de depreciación de los bienes paisajísticos son muy complicados de validar. Los proyectos de investigación, anteriormente señalados, estiman los ratios de depreciación para estos bienes mediante la técnica de preferencias sociales o la valoración mediante técnicas indirectas de percepción del paisaje por comparación entre un territorio pre y post-quemado. El uso paisajístico se ve afectado en mayor medida que las actividades de ocio y recreo. Los grandes incendios forestales acontecidos en el Parque Natural de Cazorla, Segura y Las Villas (espacio en el que sucedió el incendio de Cerro Catena, en los años 2001, 2005 y 2009), proporcionaron

una buena base de datos para realizar aproximaciones cuantitativas sobre el impacto en los bienes paisajísticos. Así se puede indicar que el incendio del año 2005 supuso un descenso del 40% en el número de turistas y la paralización de numerosos proyectos empresariales para la remodelación y ampliación de instalaciones recreativas.

El empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite la identificación de la tipología vegetal y su valoración económica, así como la disponibilidad de información al respecto del comportamiento del fuego. En función de éste, se estima a modo individual para cada recurso su ratio de depreciación. La integración de ambos conceptos aporta la vulnerabilidad económica de cada recurso presente en el área quemada. La valoración económica de daños y perjuicios es el sumatorio de las vulnerabilidades de los recursos presentes en el área quemada.

Resultados

Valoración económica de los recursos naturales

Los resultados analíticos del incendio de Cerro Catena señalaron al recurso de no uso como el de mayor importancia (217.865 €) (Tabla 2). Dado el carácter natural de las masas de *P.pinaster* afectadas, y su longevidad (superior a los 100 años en algunos rodales), el recurso maderero también alcanzó un gran valor (194.093,17 €). El tercer recurso en orden de importancia fue la fijación de carbono, dada la gran cantidad de biomasa aérea de los bosques afectados (69.137,71 €).

Tabla 2—*Valoración económica de los recursos de “Cerro Catena”*

Recurso	Valoración (€)	Representatividad (%)
<i>Maderero</i>	194.093,17	29,35
<i>Aprovechamiento leñas</i>	60.771,17	9,19
<i>Cinegético</i>	8.704,35	1,32
<i>Fijación de carbono</i>	69.137,71	10,45
<i>Control erosión</i>	21.973	3,32
<i>Biodiversidad</i>	6.820,79	1,03
<i>Paisaje</i>	27.277	4,12
<i>Ocio y Recreo</i>	54.686	8,27
<i>No uso</i>	217.865	32,94
TOTAL	661.328,19	100

El valor total de los recursos de los montes afectados por el incendio fue de 661.328,19 €, lo que representa en términos de afectación económica por unidad de superficie un valor de 3164,25 €/ha. Los bienes paisajísticos (recurso paisaje, ocio y recreo y no uso) supusieron el 45,33% del valor de los montes afectados, seguidos

por los recursos tangibles (maderero, aprovechamiento de leñas y cinegético) los cuales constituyeron el 39,85%.

Clasificación del nivel de intensidad del fuego a partir de la longitud media de llama.

La determinación de los efectos del comportamiento potencial del fuego sobre la valoración económica de las existencias, ha sido realizada identificando para cada píxel su longitud de llama promedio (directamente relacionada con la intensidad lineal del frente de avance), dicha información se obtiene directamente de los resultados que proporciona el programa Visual-Cardin, en cada uno de los píxeles recorridos por la propagación del fuego. Se identificaron cuatro niveles de intensidad del fuego (Tabla 3):

- o Grado de afectación I. Se corresponde con un Nivel de Intensidad del Fuego (NIF) VI o longitud de llama superior a 12 m. Área muy afectada. Incendio continuo de copas, de gran virulencia y consumición del material aéreo. El suelo ha quedado prácticamente desnudo.
- o Grado de afectación II. Se corresponde con un Nivel de Intensidad del Fuego (NIF) IV o longitud de llama entre 6-9 m. Área afectada en grado moderado. Incendio pasivo de copas con alguna carrera de copas. El suelo queda desprotegido por bosquetes en base a la intensidad, existe prácticamente un consumo total del combustible superficial.
- o Grado de afectación III. Se corresponde con un Nivel de Intensidad del Fuego (NIF) III o longitud de llama entre 3-6 m. Área medianamente afectada. Incendio de superficie con consumo de material superficial. El fuego avanza a favor de pendiente pero no de viento. Existen árboles entorchados aislados.
- o Grado de afectación IV. Se corresponde con un Nivel de Intensidad del Fuego (NIF) II o longitud de llama entre 2-3 m. Área poco afectada. Incendio de superficie con consumo de material superficial. El fuego avanza de recula, sin pendiente ni viento a favor.
- o

Tabla 3—Representación de los diferentes Grados de Afectación en “Cerro Catena”

Grado de Afectación	Píxeles *	Superficie (ha)	Superficie (%)
I	398	25	12
II	946	59	28
III	356	22	11
IV	1644	103	49

* Celdillas de 25 x 25 metros, definidas para todos los niveles de información, a partir de resoluciones de 250 y 500 metros.

Identificación del cambio neto en el valor de los recursos y línea de flujo del programa VISUAL-SEVEIF

A partir de las experiencias recogidas en grandes incendios forestales acontecidos en Andalucía durante el período 1993-2011 y los resultados científicos de los proyectos de investigación FIREMAP, SINAMI e INFOCOPAS se elaboró la matriz de depreciación (Rodríguez y Silva y otros, 2009), (Figura 2).

Esta matriz, se encuentra compuesta por el conjunto de factores porcentuales que en función de los niveles de intensidad del fuego (kw/m) y el correspondiente grado de afectación, indicado en el apartado anterior, tal que aplicado sobre el valor socioeconómico inicial, llega a proporcionar tanto las pérdidas ocasionadas por el incendio forestal como el valor económico residual de la vegetación no afectada por el fuego.



Figure 2—Matriz de depreciación (“Vrm”, depreciación recurso maderero (Rodríguez y Silva y otros, 2012); “Vrle”, depreciación aprovechamiento leñas; “Vrci”, depreciación recurso cinegético; “Vrca”, depreciación recurso carbono; “Vrer”, depreciación del control erosivo; “Vrbi”, depreciación de la biodiversidad faunística; “Vrpa”, depreciación del recurso paisaje; “Vroc”, depreciación del recurso de ocio y recreo; “Vrno”, depreciación del recurso de no uso).

En la arquitectura del programa Visual-Seveif, ha quedado integrada la matriz de depreciación con el fin de proporcionar de forma automática y por cada pixel afectado, el porcentaje de reducción en el valor económico inicial como resultado del comportamiento del fuego en él desarrollado.

La línea de flujo del programa informático Visual-Seveif, ha quedado definida por la siguiente secuencia de procesos de cálculo (figura nº:3):

Discusión

Las valoraciones integrales de los daños y perjuicios por incendios forestales aporta información novedosa, llegando a poner de manifiesto que los recursos tangibles sólo representan una parte del total de los impactos económicos sobre las áreas quemadas (Molina 2008; Molina y otros, 2009). En este sentido y tal como recomiendan otros autores (Borchet y otros, 2003; Vélez, 2009; Rodríguez y Silva, y González-Cabán, 2010; Molina y otros, 2011), 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.

La ordenación de los montes de la zona de estudio (Parque Natural de Cazorla, Segura y las Villas), ha perdido el objetivo primario de antaño, la producción de madera, y el secundario, la producción de resina. Su gestión debe fundamentarse en

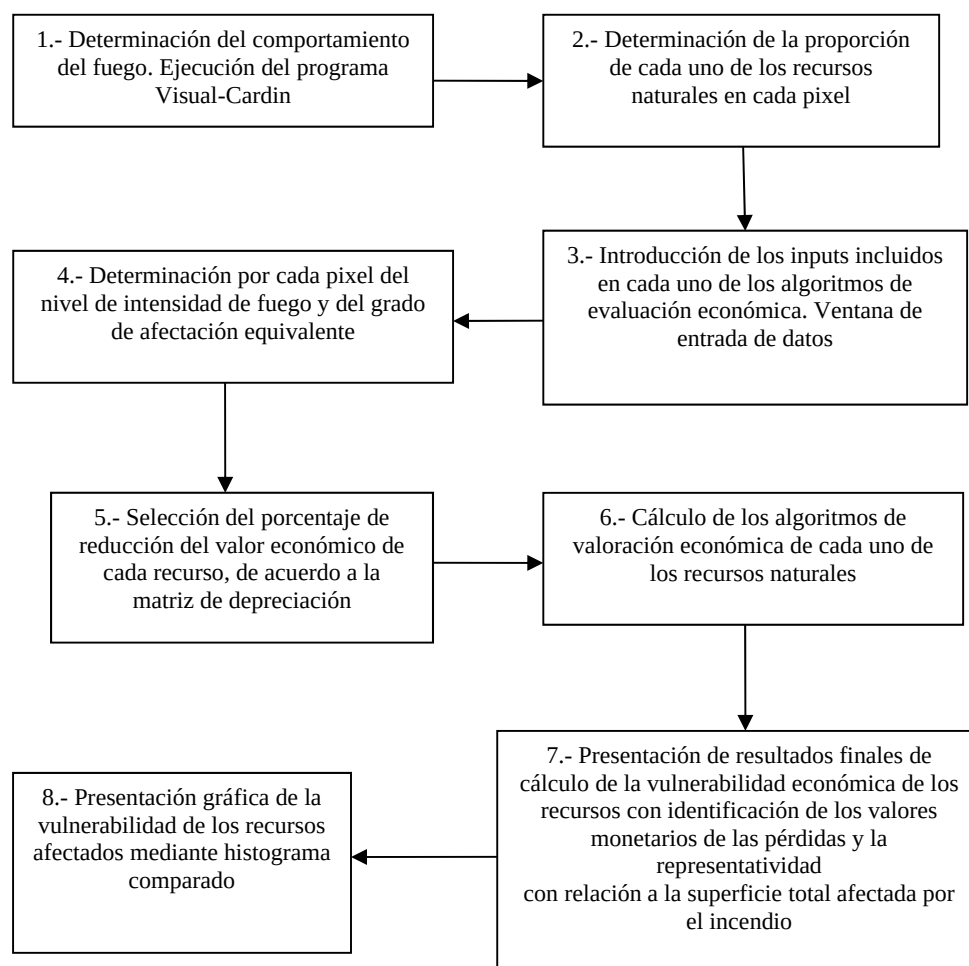


Figure 3—Línea de flujo del proceso operacional correspondiente al programa informático Visual-Seveif.

la multifuncionalidad, con alta incidencia en la conservación y puesta en uso del paisaje. La fijación de carbono representa recurso de alta potencialidad en la búsqueda de eficiencia económica. Además, la ocurrencia de un incendio forestal no sólo supone la pérdida de la capacidad de fijación de los montes sino también una gran cantidad de emisiones a la atmósfera. La utilización del criterio de vulnerabilidad como concepto más avanzado frente al tradicional de la valoración, responde a la necesidad de una herramienta de gestión que incorpore la incidencia de la mayor perturbación mediterránea, los incendios forestales, en la priorización de actuaciones o elaboración de índices de riesgo (Rodríguez y Silva et al, 2009). La clasificación de las unidades monetarias en índices cualitativos de la gravedad potencial que el impacto de un incendio potencial podría ocasionar en un área, facilita la conexión o integración del aspecto socioeconómico en los modelos de

dirigidos a la determinación de las prioridades de defensa del paisaje forestal frente a los incendios.

Conclusiones

El reconocimiento o valoración de los ecosistemas forestales es fundamental para la planificación espacio-temporal de los gestores en materia de incendios forestales. La importancia de disponer de un modelo evaluador de los impactos socioeconómicos abarca un amplio rango de posibilidades, facilitando las labores de prevención, valoración y restauración post-incendio, y en consecuencia, la toma de decisiones.

Referencias

- Andrews, P.** 1986. Behave: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System. Burn Subsystem, part 1. USDA Forest Service. Intermountain Research Station Ogden, UT 84401. General Technical reports INT-194.
- Borchert, M., Johnson, M., Schreiner, D., Vander Wall, S.** 2003. Early postfire seed dispersal, seedling establishment and seedling mortality of *Pinus coulteri* (D.Don) in central coastal California, USA. *Plant Ecology* 168(2), 207-220.
- Caballero, D. Martínez-Millán, J., Martos, J., Vignote, S.** 1994. Cardin 3.0. A model for forest fire spread and fire fighting simulation. II International Conference on Forest Fire Research. Proceedings. November 1994. Coimbra. Portugal.
- 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.
- Martínez Millán, J.** 1990. Fire behaviour modelling research and practice. International Conference on Forest Fire Research. Proceedings. November 1990. Coimbra. Portugal.
- Martínez Millán, J., Vignote, S., Martos, J., Caballero, D.** 1991. Cardín, un sistema para la simulación de la propagación de incendios forestales. Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, vol.0-1991-separata nº:10. Madrid.

- Martínez Ruiz, E.** 2000. Manual de Valoración de Montes y Aprovechamientos Forestales. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Molina, J.R.** 2008. Integración de herramientas para la modelización preventiva y socioeconómica del paisaje forestal frente a los incendios en relación con el cambio climático. Tesis Doctoral.
- 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. Libro Forest Fires: Detection, Supresión and Prevention. Nova Science Publishers. USA.
- 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 and Economics 13: 614-621.
- Piñol, J., Terradas, J., Lloret, F.** 1998. Climate Warming, Wildfire Hazard, and Wildfire Occurrence in Coastal Eastern Spain. Climatic Change 38(3): 1480-1573.
- Rodríguez y Silva, F.** 1999. A forest fire simulation tool for economic planning in fire suppression management models: an application of the Arcar-Cardin. Proceedings of the Symposium on Fire Economics, Plannig and Policy: Bottom lines, USDA Forest Service. Pacific Southwest Research Station. General Technical Report PSW-GTR-173. San Diego California.
- Rodríguez y Silva, F., Molina, J.R., Herrera, M., Zamora, R.** 2007. Vulnerabilidad socioeconómica de los espacios forestales frente al impacto de los incendios, aproximación metodológica mediante sistemas de información geográficos (proyecto Firemap). IV International Wildland Fire Conference. Proceedings. Sevilla. (www.wildfire07.es).
- Rodríguez y Silva, F., Molina, J.R., Herrera, M.A., Zamora, R.** 2009. The impact of fire and the socioeconomic vulnerability of forest ecosystems: A methodological approach using remote sensing and geographical information systems. Genral Technical Report PSW-GTR-227. Pacific Southwest Research Station. Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 151 - 168.
- 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.** 2010. Manual Técnico para la Modelización de la Combustibilidad asociada a los Ecosistemas forestales Mediterráneos. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. Córdoba. España.
- 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.
- Vélez, R.** 2009. La Defensa contra incendios forestales. Fundamentos y Experiencias. McGraw-Hill, Madrid.
- Zamora, R., Molina, J.R., Herrera, M.A., Rodríguez y Silva, F.** 2010. A model for wildfire prevention planning in game resources. Ecological Modeling 221: 19-26.

Combate de los Incendios Forestales en Brasil¹

José Carlos Mendes de Morais²

Resumen

El fuego ha sido utilizado en Brasil hace muchos años, pero, con el aumento del empleo de esta herramienta, principalmente de manera accidental, asociado a los eventos naturales, aliado a la presencia de grandes áreas forestales y agrícolas, viene aumentando considerablemente el número de incendios forestales. Para optimizar los recursos existentes y hacer frente a la creciente demanda, se adoptaron niveles de accionamientos de acuerdo al tamaño y complejidad del incidente y también se establecieron prioridades para los combates a los incendios forestales. Como parte de las estrategias de preparación para el combate, se implantaron los Centros Integrados Multi-agencias de Coordinación Operacional - CIMANs en varios estados brasileños, así como el CIMAN Nacional que cuenta con la participación del Ministerio del Medio Ambiente, Defensa Civil Nacional, Fuerza Nacional de Seguridad Pública, Fundación Nacional del Indio, Instituto Brasileño del Medio Ambiente, Instituto Chico Mendes para la Conservación de la Biodiversidad y de los Cuerpos de Bomberos. El principal objetivo de la integración de las agencias de respuesta es administrar los recursos materiales y humanos disponibles para el combate a los incendios forestales, resultando en una reducción en el tiempo de respuesta entre la detección y el ataque inicial.

Palabras claves: incendios forestales, políticas de combate

Introducción

La utilización del fuego por parte del hombre es antigua. El control del fuego fue fundamental para que el hombre iniciase su camino rumbo a la civilización. Los primeros encuentros del hombre primitivo con el fuego deben haber ocurrido naturalmente a través de observación de fenómenos de la naturaleza: rayos, yacimientos de petróleo y actividades volcánicas (Morais 2009).

A lo largo del tiempo, el hombre fue dominando el uso del fuego y éste se volvió una fuente constante de calor, luz y protección contra los animales salvajes. Siendo

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, 5-11 de noviembre de 2013, Ciudad de México, México.

² Gestor Ambiental, Técnico del Instituto Brasileiro del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, SCEN – Trecho 2 Ed. Sede del IBAMA – Bloque “C” – 70.818-900, www.ibama.gov.br, Brasil.

usado posteriormente como herramienta agropastoral, en transformaciones y procesamiento de materiales.

Aunque hayan sido encontrados relatos de incendios desde el 32.200 A.P. (antes del presente) por causas naturales, con el aparecimiento del hombre y sus prácticas de utilizar el fuego como instrumento para las roturaciones y ocupación de las tierras vírgenes surgen, las pérdidas que superan sus eventuales beneficios, ya que el descuido y/o mal uso del fuego causa un impacto ambiental de gran proporción para la sociedad como un todo (Moráis 2011).

Para el investigador Cornacchia (1996), el fuego provocado por la acción antrópica se volvió más frecuente que los causados por factores naturales, como las descargas eléctricas alterando el régimen natural del fuego. En el relevamiento hecho por el investigador, se verifica que el fuego afecta periódicamente, desde hace miles de años, la mayor parte de los biomas del mundo, pudiéndose afirmar que éste influyó y aún influencia la evolución de la biodiversidad.

Históricamente, en América Latina, la utilización del fuego como herramienta se ha resumido a la renovación de pastos o destrucción de florestas tropicales para la conquista de nuevas tierras con finalidades agrícolas y pastorales. (RIZINI 1976).

Según Ramos (1995), en un país de dimensiones continentales, como es Brasil, con una de las mayores tasas anuales de producción de fitomasa, una diversidad muy grande de vegetación, de clima y, habitado por un pueblo con valores culturales bastantes arraigados, establecer un programa de prevención y combate a los incendios forestales de alcance nacional no es una tarea simple, demanda esfuerzo y un plazo bastante largo, principalmente por requerir cambios de comportamiento profundos.

Cambios que empezaron a ser notados desde 2001 con las contrataciones de brigadas para la prevención y combate a los incendios forestales en las Unidades de Conservación Federales y después ampliándose en 2008 a los municipios críticos. La selección de estos municipios para la contratación de brigadistas toma en consideración factores técnicos, sociales y ambientales.

La cuestión social es, con seguridad, un factor relevante para la contratación de brigadas. Por estar, en general, localizadas lejos de los grandes centros, con pocas oportunidades de empleo, la contratación de brigadistas en los seis meses que coinciden con el período de estiaje, o sea, en el periodo entre cosechas, cuando las actividades agrícolas son poco desempeñadas, viene generando nuevos empleos en esas regiones, contribuyendo así con una ayuda substancial en la distribución de renta y, consecuentemente, incrementando la economía local.

Brigadas de Prevención y Combate a los Incendios Forestales

Para contener los incendios forestales en áreas protegidas, el Instituto Brasileño del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables – Ibama, desarrolló un proyecto para la creación de brigadas de prevención y combate a incendios forestales en Unidades de Conservación Federales. El proyecto, iniciado en 2001, demostró en la época una preocupación con el mantenimiento de las Unidades de Conservación - UCs en todas sus categorías, preservando no sólo la flora y defendiendo la fauna, sino protegiendo todo un banco genético, pues, probablemente, estas poseen especies aún no catalogadas o incluso desconocidas en el medio técnico científico (Morais 2004).

El año 2008 fue marcado por la extensión de esa línea de actuación en casos de emergencias ambientales, especialmente relacionados a los incendios forestales. El Ibama empezó a contratar brigadistas en municipios críticos, abarcando también áreas forestales no protegidas por ley. La motivación principal fue el hecho de haber sido atribuido el estado de emergencia ambiental a 14 unidades federativas, en función de las condiciones climáticas favorables a la ocurrencia de incendios forestales.

La selección de los municipios involucra criterios técnicos, tomando en cuenta la concentración de focos de calor detectados por los satélites referencia, puestos a disposición por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales – INPE, sobrepuestos en remanentes forestales (F). Satélite de referencia es el satélite cuyos datos diarios de focos detectados son usados para componer la serie temporal, a lo largo de los años, y así permitir el análisis de tendencias en los números de focos para las mismas regiones, en períodos de interés (<http://www.inpe.br/queimadas/faq.php>). Los satélites de referencia son el NOAA -12 con pasajes nocturnos para las detecciones hasta el día 09 de agosto de 2007 y Aqua UMD pasajes vespertinos desde esta fecha.

Para el ajuste fino de los datos son también utilizados como criterios: informaciones de cobertura por áreas protegidas (Unidades de Conservación Federales y Estaduales de Protección Integral) (**PI**), Tierras Indígenas (**TI**) y Unidades de Conservación Federales y Estaduales de Uso Sostenible (**US**), Proyectos de Asentamiento (**PA**) y área de Remanentes Forestales (**R**).

Al final, se establece un índice, tomándose en cuenta el porcentaje de cada criterio con relación a la detección de focos en el estado y el área del estado. Fueron atribuidos diferentes pesos para cada índice y los índices fueron sumados. Por último fueron sumados 5 puntos para los municipios contemplados por los programas plurianuales del IBAMA de deforestación de la Amazonia, Caatinga y Cerrado (**PPCD**) estableciéndose un Índice de Prioridad (**IP**).

$$IP = F \times 4 + R \times 3 + PI \times 3 + TI \times 2 + US \times 1 + PA \times 1 + PPCD$$

Recordando que los valores de IP obtenidos sirven exclusivamente para la comparación entre municipios del mismo estado, no siendo posible extrapolar su aplicación como un índice para el nivel nacional.

Visando un salto en la calidad de los combates, moradores locales son seleccionados, entrenados y contratados en régimen temporal, ya que la mayoría de esas personas son agricultores, profundos conocedores de la región y con notable habilidad en herramientas manuales.

En el año 2011 se implantó, en carácter experimental, la brigada de Pronto Empleo (Pronto Auxilio), en Brasilia, llamada de Tiro-Quente (Disparo Caliente). La Brigada Disparo Caliente posee como objetivo principal la prevención y combate a los incendios forestales en remanentes forestales, apoyando las áreas protegidas, Cuerpos de Bomberos y principalmente pronto auxilio a otras unidades de la federación.

El proyecto de brigadas especializadas también abarca los estados de Rio de Janeiro y Rondônia en función de la distribución geográfica pudiendo atender varios estados, red vial para rápido desplazamiento y próximo a bases de la fuerza aérea brasileña.

La brigada especializada “Tiro Quente” (“Disparo Caliente”) es esencial para el éxito de las operaciones de combate. Con la implantación de las brigadas es posible cubrir gran parte del país por vías terrestres y por completo en desplazamientos aéreos. Además que, el Centro Nacional de Prevención y Combate a los Incendios Forestales – Prevfogo, gana en agilidad en el servicio a las demandas de combate, minimizando los impactos ocasionados por los incendios forestales, reduciendo la emisión de gas carbónico para la atmósfera, mejorando las respuestas dadas a los incendios forestales.

Las brigadas federales, aun instaladas en municipios críticos, tienen actuación en todo el territorio brasileño, de acuerdo a prioridades establecidas y niveles de accionamientos.

Prioridades de Acción de Las Brigadas

Tomando en cuenta el gran número de incendios y de otras demandas volcadas a las acciones de prevención de incendios fueron establecidas prioridades para la acción de las brigadas instaladas en municipios críticos.

La primera prioridad es para combates en Áreas Protegidas. En las Unidades de Conservación – UC de protección integral garantizando el mantenimiento de los

ecosistemas, libres de alteraciones causadas por la interferencia humana, Federales, Estaduales o Municipales.

En las Áreas de Preservación Permanente - APP tales como área protegida, cubierta o no por vegetación nativa, con la función ambiental de preservar los recursos hídricos, el paisaje, la estabilidad geológica y la biodiversidad, facilitar el flujo génico de fauna y flora, proteger el suelo y asegurar el bienestar de las poblaciones humanas (Código Forestal 2012).

En el interior y entorno de las - UCs de uso sostenible, donde existe la explotación del ambiente de manera de garantizar la perennidad de los recursos ambientales renovables y de los procesos ecológicos, manteniendo la biodiversidad y los demás atributos ecológicos, de forma socialmente justa y económicamente viable, se permite el uso del fuego en la forma prescrita (SNUC 2000).

En las Reservas Legales - RL, áreas ubicadas en el interior de una propiedad o pose rural (Código Forestal 2012). Establecido por el código forestal en las áreas de preservación permanente, necesaria al uso sostenible de los recursos naturales, a la conservación y rehabilitación de los procesos ecológicos, a la conservación de la biodiversidad y al abrigo y protección de la fauna y flora nativas.

También están incluidas en las prioridades 1 las Tierras Indígenas – TI desde que se obtengan orientaciones y apoyo de la fundación Nacional del Indio - Funai y de las comunidades indígenas locales.

En las prioridades 2 están el apoyo al combate en las áreas en las que viven las poblaciones con estrecha relación con el ambiente natural, dependiendo de sus recursos naturales para su reproducción socio cultural, por medio de actividades de bajo impacto ambiental.

En áreas destinadas a la reforma agraria planeada, de naturaleza interdisciplinaria y multi sectorial, integradas al desarrollo territorial y regional, para la utilización racional de los espacios físicos y de los recursos naturales existentes, objetivando la implementación de los sistemas de vivencia y producción sostenibles, en la perspectiva del cumplimiento de la función social de la tierra y de la promoción económica, social y cultural del trabajador rural y de sus familiares (Incrá 2012).

En las florestas públicas, naturales o plantadas, localizadas en los diversos biomas brasileños, en bienes bajo el dominio de la Unión, de los Estados, de los Municipios, del Distrito Federal o de las entidades de la administración indirecta.

Para terminar las Prioridades 2 tenemos el apoyo al combate en incendios en áreas forestales, en propiedades rurales y urbanas, en caso de que no haya cuerpo de bomberos en el lugar.

Como prioridad 3 fueron establecidos, cuando solicitado y con las debidas autorizaciones del poder público, orientación de técnicas apropiadas de quema controlada y el control de su ejecución, cuando sea necesario. Acciones de

sensibilización por medio de la educación ambiental, en particular en las comunidades rurales, en lo que se refiere a la prevención y combate a los incendios forestales. En rondas preventivas, pues la presencia de la brigada inhibe la acción de posibles incendiarios pudiendo incluso realizar el combate inicial evitando, de esa forma, que el fuego se propague.

Cuando la brigada no tenga en servicio ninguna de las prioridades anteriores, las mismas pueden realizar acciones socio ambientales como por ejemplo: actuando en la descontaminación de cursos de agua, acciones de combate al dengue, sensibilización de familias en áreas de riesgo, apoyo a eventos de combate al hambre y por la igualdad social, entre otras.

Para darle publicidad a las acciones de las brigadas del IBAMA, instaladas en municipios, críticos fue elaborada una imagen alusiva las prioridades (fig. 1).



Figura 1— Imagen desarrollada para darle publicidad a las acciones de las brigadas del IBAMA instaladas en municipios, críticos

Sistema de Accionamiento

Para fomentar los combates, tanto los simples como los complejos el Ibama pone, de acuerdo a la necesidad, su estructura a disposición de esas brigadas y articula con otros órganos el apoyo necesario. El accionamiento de los recursos ocurre de acuerdo a una secuencia de acciones preestablecidas. La cadena de accionamiento que aún no tiene protocolos firmados entre las instituciones cooperadoras ha funcionado de forma precaria, sin embargo, con eficiencia gracias a la dedicación de los técnicos recomendados por los gestores de las instituciones participantes.

A fin de internalizar y facilitar el entendimiento, el Prevfogo adoptó una herramienta de gestión de acciones y recursos relativos a las operaciones de combate a los incendios forestales, donde se estableció tres niveles de accionamientos.

En el **Nivel 1**, donde el incendio es pequeño y puede ser extinto con los recursos de la propia brigada o de otras instituciones instaladas en los límites municipales. Cabiéndole al jefe de la brigada, articular todas las acciones para promover la extinción del incendio. El incidente debe ser informado a la coordinación estadual que pasa a acompañar, de forma remota, el evento. Al final del combate el jefe de la brigadas deberá confeccionar el informe sobre incendio – ROI.

Cuando el incendio no puede ser erradicado apenas con los recursos de la brigada y de los compañeros en el área del municipio y requiere la articulación de recursos estaduais del Ibama y demás instituciones involucradas, pasa a tener el estatus de **Nivel 2**, donde el coordinador estadual del Prevfogo, de forma de complementar los recursos ya utilizados en el siniestro, pasa a promover la articulación con un órgano de ámbito estadual, pudiendo desplazar brigadas más próximas, accionar cuerpos de bomberos, solicitar aeronaves, etc.

Por involucrar muchos recursos humanos y materiales se hace necesaria la instalación de una sala de situación, donde se pueda visualizar rápidamente todos los recursos disponibles y la promoción del Sistema de Comando Integrado – SCI.

En el nivel 2 la coordinación estadual del Prevfogo debe informar la situación del incendio al Núcleo de Operaciones y Combate del Prevfogo/Sede que pasa a realizar el control del incendio y, al final del combate, debe ser elaborado el ROI.

En el **Nivel 3** el incendio no puede ser controlado con los recursos disponibles hasta entonces. La complejidad de la operación requiere la movilización de recursos de entidades de alcance nacional, ya sea del Ibama o demás cooperadores. El Núcleo de Operaciones y Combate pasa a involucrarse directamente en el incendio, articulando recursos humanos y materiales de otros estados de la federación para apoyar el combate al siniestro.

En función de los elevados costos en las operaciones de combate ampliado es indispensable un control eficiente de los recursos disponibles como horas de vuelo, personal involucrado, vehículos utilizados entre otros. Para eso se recomienda el uso del Sistema de Comando de Incidentes - SCI, investigación de causas y orígenes de

los incendios forestales y que sea elaborado un informe de combate ampliado, al final del evento, detallando todas las actividades desarrolladas, recursos humanos empleados, medios utilizados, gastos efectuados, horas de vuelo, área alcanzada, dificultades encontradas, sugerencias para la mejoría del sistema y evaluaciones de planes de prevención y combate, cuando los haya.

Para internalizar los niveles de accionamientos fue elaborado un diagrama de flujo donde puede ser rápidamente entendido cual es el nivel del evento y sus particularidades, las actividades a ser desarrolladas en cada tipo de siniestro y los procedimientos a ser ejecutados (fig. 2).



Figura 2— Diagrama de flujo donde puede ser rápidamente entendido los niveles de accionamientos y cuál es el nivel del evento y sus particularidades, las actividades a ser desarrolladas en cada tipo de siniestro y los procedimientos a ser ejecutados.

Mucho en función de los siniestros de nivel tres, el Ministerio del Medio Ambiente, por medio del Programa Nacional de Reducción del Uso del fuego en las Áreas Rurales y Forestales – PRONAFOGO, dispuso técnicos y gestores para utilizar

el SCI y en conjunto con el Prevfogo estimularon los estados para organizar los Centros Multi-Agencias de Coordinación Operacional – Ciman.

Centro Integrado Multi-Agencias de Coordinación Operacional – Ciman

En 2010 se implantó en el Estado de Roraima la Operación Roraima Verde, iniciativa del Ministerio del Medio Ambiente y parte de la estrategia de acción del Programa Nacional de Reducción y Sustitución del Fuego en las Áreas Rurales y Forestales – Pronafogo. La planificación, coordinación y ejecución de las acciones integradas fueron desarrolladas desde las demandas surgidas en las bases avanzadas de combate, deliberaciones y decisiones tomadas en el Centro Integrado Multiagencias de Coordinación Operacional – Ciman-RR (Roraima 2010).

El Centro estaba compuesto por las instituciones responsables por los combates a los incendios forestales y fiscalización de delitos ambientales. El CIMAN/RR formado por representantes del Instituto Brasileño de Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables – IBAMA, Instituto Chico Mendes de Conservación de la Biodiversidad – ICMBio, Coordinación Estadual de Defensa Civil – CEDEC/RR, Cuerpo de Bomberos Militar de Roraima – CBM/RR, Cuerpo de Bomberos Militar de Distrito Federal – CBM/DF, Compañía Independiente de Vigilancia Ambiental de la Policía Militar del Estado de Roraima – PM/RR, Fundación Estadual del Medio Ambiente, Ciencia y Tecnología de Roraima – FEMACT, entre otros, actuando por medio de una coordinación conjunta, respetándose la autonomía y las atribuciones legales de los órganos representativos, con la principal misión de monitorizar las áreas de riesgo, susceptibles a los incendios forestales, detectando sus focos y accionando los equipos de respuesta, identificando las áreas de deforestación, realizando actividades de fiscalización, de acuerdo a las prioridades establecidas por el CIMAN/RR (fig. 3).

El Primer Ciman instalado en Brasil tuvo como objetivo promover, en una sala de situación única, el compartimiento de informaciones sobre las operaciones en trámite buscando soluciones conjuntas entre las entidades que de él participan, de acuerdo al organigrama de las instituciones participantes (fig. 4).

OPERAÇÃO RORAIMA VERDE

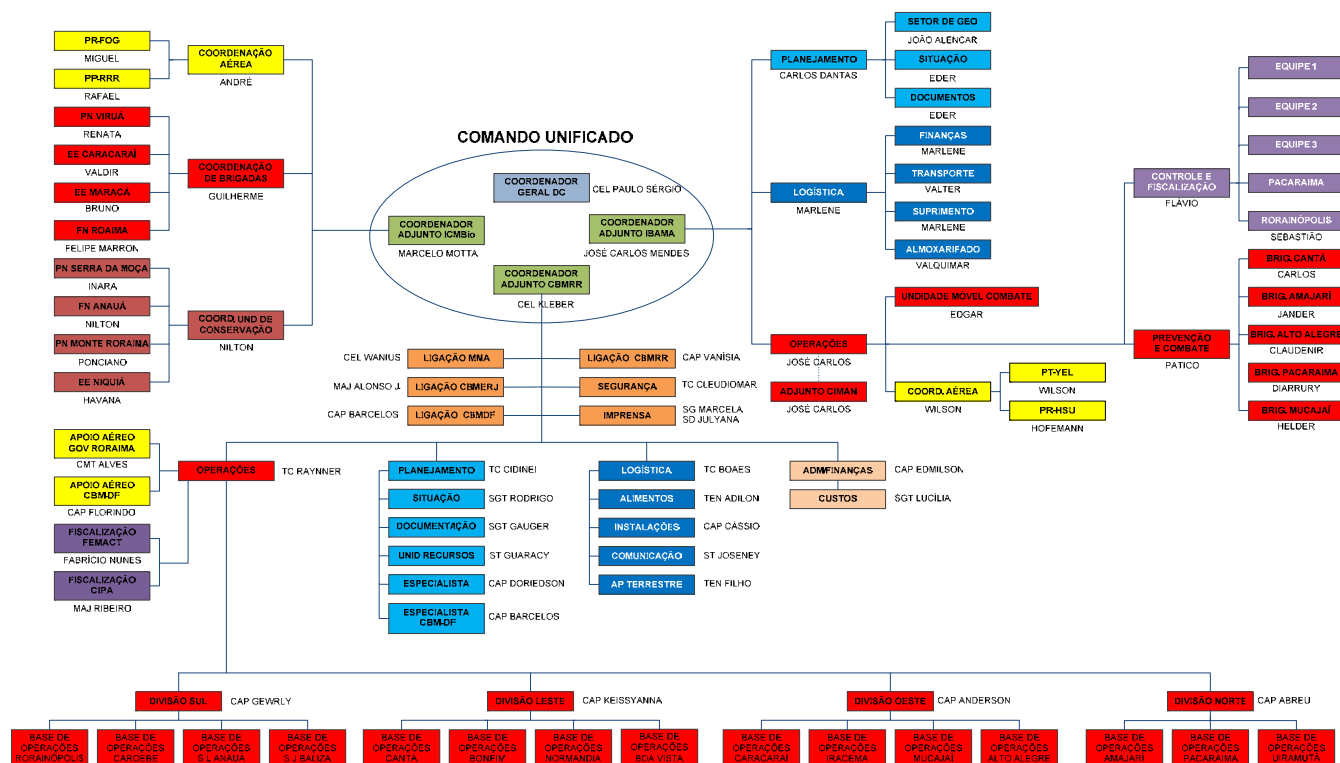


Figura 4— Diagrama de operación del sistema Roraima Verde indicando la aplicación del sistema de Comando de Emergencias en Brazil.

Utilizando algunas herramientas del SCI, fueron evaluados los resultados de las acciones emprendidas, optimizando los recursos humanos, los materiales empleados y las estrategias adoptadas. En las reuniones diarias fueron elaborados los Planes de Acción Integrada – PAI (SCI 202), que contiene, entre otras, directrices, objetivos específicos para el período operacional, actividades demandadas para cada institución involucrada, así como evaluación de las acciones ejecutadas (fig. 4).

El SCI fue desarrollado en la década de 1970, en respuesta a una serie de incendios forestales que prácticamente destruyeron el sudoeste de California. En aquella ocasión, las autoridades municipales de condados y del propio gobierno estadual y federal se unieron para formar la Organización de los Recursos para Combate a los Incendios Forestales y Eventuales Emergencias - FIREScope³ (SCI, 2011).

Al final del mes de julio de 2010, se observó en la porción central y en el norte de Brasil una ola de incendios forestales de grandes proporciones. Hasta entonces, acciones separadas de combate eran desarrolladas por entidades públicas de diferentes esferas de gobierno, cada una con su modo de trabajo y de acuerdo a su propia capacidad operacional. En la primera quincena del mes de agosto la situación se agravó de manera tal que por determinación del Presidente del Ibama fue creado, aun cuando informal, el Ciman Nacional en Brasilia.

El grupo ejecutivo de esa sala de situación se reunió diariamente en las dependencias del Prevfogo-Sede hasta el final de septiembre con la coordinación de la jefatura del Prevfogo. Participaron de las reuniones la Defensa Civil Nacional, la Fuerza Nacional de Seguridad Pública, Fundación Nacional del Indio, Cuerpo de Bomberos, Defensa Civil Nacional, Instituto Chico Mendes de Conservación de la Biodiversidad, entre otras. En total fueron realizadas 38 reuniones (Prevfogo, 2010).

El año 2011 fue un año con precipitaciones por encima del promedio en todo el País, haciendo que disminuyesen los incendios forestales y en función de esa disminución ocurrieron pocas reuniones del Ciman Nacional.

Conclusión

A lo largo de la historia brasileña, el uso del fuego se ha intensificado y en consecuencia hubo un aumento continuado de los incendios forestales lo que engendró una necesidad de adopción de políticas públicas en el sector, tales como la importante creación de los Centros Integrados Multi Agencias de Coordinación Operacional – Ciman

³ Inglés: FIrefighting RESources of California Organized for Potential Emergencies

Uno de los programas que ha viabilizado no sólo el combate de incendios sino también la concienciación para el uso racional del fuego fue la creación de brigadas en regiones de riesgo eminente y principalmente las especializadas en puntos estratégicos.

La priorización de las actividades de las brigadas disciplina sus servicios dando importancia y valorando el combate. El sistema de accionamiento viene haciendo un mejor uso de los recursos humanos y materiales disponibles, disminuyendo el tiempo de respuesta en los incendios forestales.

Referencias

- Cornacchia, Geovane. 1996.** Manejo de Fogo "Parque Nacional de Brasília" – PNB. PREVFOGO/IBAMA. Brasília.
- Código Forestal. 2012.** Dispõe Sobre a Proteção da Vegetação Nativa. Ley Nº 12.651, de 25 de mayo de 2012. Brasília.
- INCRA. 2012.** Modalidade de Projetos de Assentamentos Criados Pelo Incra na Atualidade. socioambiental.org. Accedido en 2012 Junio 29. disponible en: http://www.socioambiental.org/banco_imagens/pdfs/DefinioTiposdeAssentamentoeCrditos.pdf.
- Morais, J.C.M. 2009.** Incêndios Florestais e Queimadas. In: Encontro Intercontinental Sobre la Naturaleza, Anuarios. Fortaleza.
- Morais, J.C.M. 2004.** Tecnologia de Combate aos Incêndios Florestais. Revista Floresta 34, P.211-216, Curitiba.
- PREVFOGO. 2010.** Relatório de Combate aos Incêndios 2010, Prevfogo, Ibama. Brasília,
- PREVFOGO. 2011.** Relatório de Combate aos Incêndios 2011, Prevfogo, Ibama. Brasília
- Ramos, P.C.M. 1995.** Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. In: Fórum Nacional Sobre Incendios Forestales, Anuarios. IPEF, P. 29-38. Piracicaba.
- Roraima, 2010.** Relatório Operação Roraima 2010. Prevfogo, Superintendencia del Ibama. Boa Vista, RR
- Rizzini, C.T.T. 1976.** Tratado de fitogeografia do Brasil. Vol. 01. USP. São Paulo,.
- SCI, 2011.** Manual de Sistema de Comando de Incidentes – Cuerpo de Bomberos Militar del Distrito Federal – CBMDF. Brasília.
- SNUC, 2000.** Sistema de Unidades de Conservação da Natureza. Ley nº 9.985, de 18 de julio de 2000. Brasília.

Mega Incendio Forestal en la Reserva Mundial de la Biosfera (UNESCO), Parque Nacional Torres del Paine, Patagonia - Chile 2012: Una Experiencia de Trabajo en Condiciones de Comportamiento Extremo en el Contexto del Calentamiento Global¹

René Cifuentes Medina²

Resumen

Los mega incendios forestales son eventos de alto grado de criticidad e impacto que ocasionan graves daños ambientales, económicos y sociales, lo que se traduce, además, en elevados costos en las operaciones de supresión y en la necesidad de la aplicación de los conceptos de apoyo mutuo, uso escalonado de recursos y del trabajo coordinado de organismos públicos- civiles y de las FFAA, de empresas privadas y de la colaboración de la comunidad internacional.

El mega incendio forestal que afectó al Parque Nacional y Reserva Mundial de la Biosfera Torres del Paine en la Región Austral de Magallanes en Chile, en el mes de Diciembre 2011 a Febrero 2012, se originó por una acción negligente por parte de un turista, en un sector de difícil acceso terrestre y bajo condiciones de comportamiento extremo que dificultaron aún más el rápido acceso de recursos de combate terrestre, haciendo imposible el además el acceso vía aérea; factores que influyeron para que desde su inicio manifestara rápida velocidad de propagación, alta intensidad calórica, resistencia al control y emisión de pavesas a grandes distancias.

Por otra parte, los efectos del cambio climático y el calentamiento global se hacen sentir en todo el mundo como una amenaza real, generando escenarios perfectos para la ocurrencia de siniestros de estas características; hecho que sitúa a este incendio como un ejemplo concreto y digno de analizar por su magnitud, por los cuantiosos recursos y medios utilizados, su nivel de complejidad en las operaciones de combate, los grandiosos despliegues logísticos necesarios a implementar por la lejanía y accesibilidad al lugar, las complicaciones que se tuvo que resolver, sus consecuencias sobre el turismo y la economía local, y la connotación pública y política mediática. De ahí el imperativo de extraer de esta experiencia aquellos

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales; noviembre 5-11 de 2012, Ciudad de México, México.

² Técnico Forestal, Jefe Departamento Manejo del Fuego, Corporación Nacional Forestal. Avenida Bulnes N° 0333, Punta Arenas, Chile. Rene.cifuentes@conaf.cl.

factores que pudieran ser considerados en la prevención o combate de futuros siniestros de alta complejidad, como una contribución a la reducción de los cuantiosos efectos ambientales, económicos, sociales y políticos generados por los incendios forestales.

Palabras claves: cambio climático, impactos económicos, mega incendios,

El fuego como agente perturbador a escala regional.

En Chile, y todo el mundo, los incendios forestales son una problemática que no deja indiferente a nadie. En nuestro país el 99% de los incendios forestales son de origen antrópico, las estadísticas también nos señalan que en promedio ocurren 5.500 siniestros cada año y que estos afectan unas 52 mil hectáreas de vegetación, con pérdidas de US\$ 57 millones aproximadamente, que corresponden a daños valorables en el mercado, tales como maderas, instalaciones, ganado y otros bienes, además de los daños sociales y ambientales.

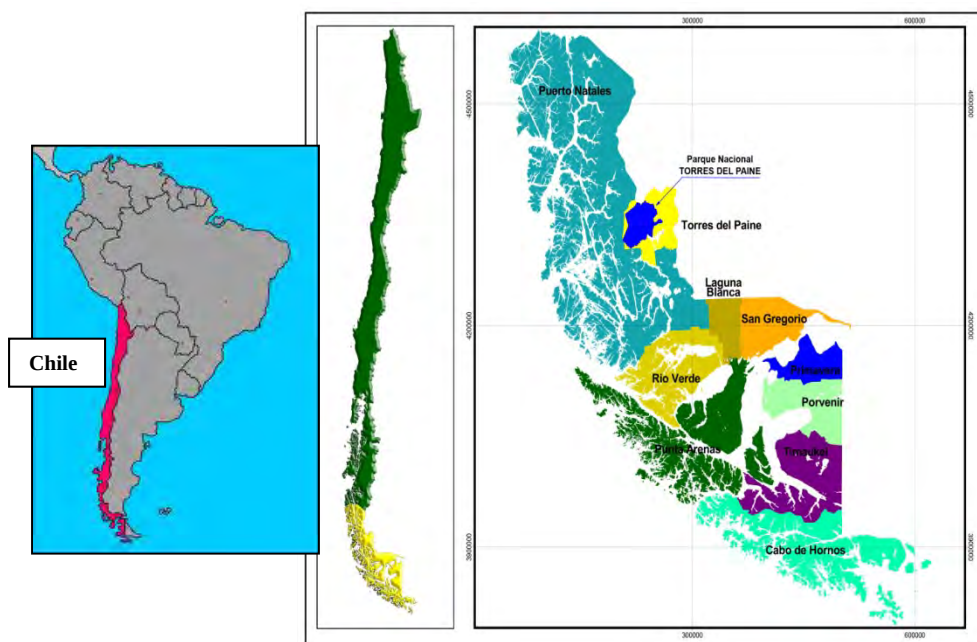


Figure 1— Localización de Chile

Historia del fuego en Torres del Paine

El Parque Torres del Paine, localizado en el extremo austral de Chile, presenta rasgos naturales tan destacados que constituye uno de los sitios de mayor atractivo turístico del País, incluso en el contexto internacional (aprox. El 80 % de sus visitantes son extranjeros). Es una de las áreas protegidas más emblemáticas de Chile, ya que en sus

aproximadamente 242 mil hectáreas alberga una diversidad de paisajes montañosos, glaciares y una riqueza biológica que lo han hecho ser reconocido como Reserva Mundial de la Biosfera por la Unesco, transformándose en la tercera área protegida con mayor número de vistas en Chile (CONAF 2012). El creciente número de visitantes que atrae actualmente el Parque (aprox. 160 mil visitantes anuales), está repercutiendo de manera negativa en los recursos naturales de la Unidad, manifestándose a través de diferentes tipos de efectos entre los cuales el de mayor impacto lo constituyen los incendios forestales afectando a la calidad ambiental y poniendo en serio riesgo la mantención de los ecosistemas naturales y la sustentabilidad de estos.

Por su paisaje físico y biológico, constituye además un patrimonio económico de gran importancia a escala regional, pero al mismo tiempo es una de las principales amenazas, ya que la alta tasa de visitantes implica un mayor riesgo de ocurrencia de focos de ignición (Vidal y Reif 2011). Es así como en el período 1980-2012 se registraron 61 incendios, todos ellos provocados por el ser humano, afectando a más de 48 mil hectáreas del área protegida, incluyendo los grandes incendios de los años 1985 y 2005 (Vidal y Reif 2011), que precedieron al incendio del 2011.

Todo lo cual refleja la singularidad que presenta la problemática de los incendios forestales en esta región, debido a que las condiciones ambientales, la vegetación existente y una gran cantidad de variables mezcladas, generan condiciones que favorecen la propagación de un incendio y muchas veces también dificultan el combate de estos. De esta manera un pequeño foco se transforma en un potencial incendio de magnitud con consecuencias desastrosas.

El último de los grandes incendios se inició en el Parque a fines de diciembre del año 2011, extendiéndose por alrededor de un mes en su fase más activa, y afectando un total de 17.606 hectáreas, de las cuales 17.054 están dentro de las fronteras del Parque. Del total de la superficie incendiada se estima que el 59,7% afectó a comunidades de estepa patagónica dominada por gramíneas; 28,6% a matorral o estepa arbustiva; 9,7% a bosque nativo y el 1,9% restante a suelos de otros usos.

Este gran incendio denominado “Olguín”, por el sector donde se inició el fuego, es considerado como uno de los más devastadores que han ocurrido en la historia del Parque como área protegida. La magnitud del incendio Olguín no sólo sobresale por la vasta superficie afectada, sino también por la severidad del incendio, que afectó la vegetación y los suelos, y porque una amplia superficie (50%) es coincidente con el gran incendio que afectó al Parque en el año 1985 (USNPS 2012), por lo que el impacto destructivo es más fuerte y la capacidad de recuperación del ecosistema en estos sectores es más baja, entendiendo que la recurrencia del fuego se reconoce

como un factor que conduce a la degradación progresiva de ecosistemas en el largo plazo (Zarin y otros 2005).

Desarrollo de las operaciones de combate

El fuego se extendió con rapidez por efecto de los vientos fuertes y constantes, por el combustible orgánico muy abundante y seco presente en todo el Parque por efectos de conservación del área y una prolongada sequía, originando una alta velocidad de propagación, alta resistencia al control y emisión de pavesas a grandes distancias provocando múltiples focos secundarios.

Los cuantiosos recursos y medios requeridos, su nivel de complejidad en las operaciones de combate, por la presencia de factores extremos de comportamiento, los grandiosos despliegues logísticos por la lejanía y accesibilidad al lugar y las múltiples complicaciones que se tuvo que resolver, hicieron necesaria la implementación de una estructura de combate para ataque ampliado de nivel superior, para lo cual se dispuso de todos los elementos materiales, técnicos y humanos presentes en la región de Magallanes a través del Sistema básico de protección local, del Sistema de Protección Civil del Estado, y la movilización de recursos de combate (Brigadas CONAF y de Empresas Privadas) de regiones del centro del país en virtud de los protocolos de apoyos interregionales, los que aun fueron insuficientes, por lo cual se requirió de la cooperación internacional mediante la invocación de convenios de ayuda recíproca binacionales y el ofrecimiento de ayuda de países amigos.

El incendio se extinguió finalmente el 23 de Febrero 2012 aunque las operaciones de liquidación y guardia de cenizas se mantuvieron hasta el mes de marzo 2012.

Organización para ataque ampliado de nivel superior (OOAAS).

Como la llegada de recursos fue escalonada, la organización montada también fue creciendo a la par con el arribo de personal al incendio, tal es así que recién el día 03 de Enero, se pudo completar la OOAAS, en cuanto a lo esencial para el manejo de la emergencia, todo lo cual además originó serios problemas logísticos debido a las grandes distancias y lo complejo de la línea de abastecimiento.

Cuadro 1—Recursos utilizados en la emergencia

CONAF	GOBIERNO	INTERNACIONAL
• Sistema básico Regional • Plan ORI (Operación Regional Integrada) • PLANIMAG (Plan Institucional para incendios de Magnitud)	• ACCEFOR (Plan de Coordinación Operativa para situaciones de emergencia forestal) • Plan Solidario Comando Conjunto Austral FFAA	• Convenio Santa Cruz República Argentina • Convenio atención catástrofes República Argentina (ANPN) • Dirección Nacional de Bomberos Uruguay • Instituto Brasileiro de Medio Ambiente (IBAMA) Brasil

Plan Operativo Departamento Manejo del Fuego en la Región de Magallanes (CONAF)

El programa manejo del Fuego de CONAF Magallanes, consideraba el funcionamiento de cuatro Brigadas profesionales durante la temporada de incendios forestales. Dos de las cuales ubicadas en el Parque Nacional Torres del Paine, una en la ciudad de Punta Arenas; y la otra en la ciudad de Puerto Natales.

Plan de Operaciones Regional Integrado (Plan ORI – CONAF)

El Plan ORI tiene por objetivo hacer uso de todos los recursos disponibles por la Dirección Regional de la Corporación Nacional Forestal, ya sea materiales o humanos, en apoyo a la gestión de Manejo del Fuego para enfrentar una emergencia mediante una organización para ataque ampliado de nivel regional, el cual permite contar con personal técnico y administrativo, para diferentes tareas en la estructura de ataque ampliado básico regional durante las primeras horas del incendio.

Plan Institucional para Incendios de Magnitud (PLANIMAG) CONAF

Considera la movilización de recursos de combate en forma de apoyos interregionales para incendios de magnitud, se implementó en forma escalonada a partir del día 28 de Diciembre 2011 y terminó en Abril 2012 con la desmovilización de la totalidad de los recursos de apoyo, brigadas y personal técnico provenientes de diferentes regiones del centro del país.

Plan de Coordinación Operativa para enfrentar emergencias Forestales (Plan ACCEFOR) del Sistema de Protección Civil de la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI)

El Plan de Coordinación Operativa para Emergencia Forestal (ACCEFOR) del Sistema de Protección Civil (Decreto Supremo 156, 2002) apunta a la organización, procedimientos y concepto general de la forma de actuar de los organismos integrantes del Comité de Operaciones de Emergencia (FFAA, Bomberos, Municipalidades, Defensa Civil, Obras Públicas, etc.), ante la ocurrencia de emergencias de tipo forestal cuando se sobrepasa la respuesta local establecida por la CONAF.

Convenio CONAF-Consejo Agrario de la Provincia de Santa Cruz (CAP) República Argentina para combate de incendios *forestales fronterizos*

Vigente desde el año 2003, surgió como una necesidad de aunar esfuerzos para la protección de los ecosistemas patagónicos compartidos entre las provincias australes de Chile y Argentina, donde no existen barreras naturales.

Plan Nacional de Manejo del Fuego de la República Argentina

La participación de Brigadas pertenecientes al Plan Nacional de Manejo del Fuego de la República Argentina se decidió ante la necesidad de contar con mas personal capacitado y ante la imposibilidad de movilizar a la Región más brigadas del Sistema Nacional ante la simultaneidad de siniestros activos en las regiones del centro, la solicitud fue realizada, invocando el acuerdo suscrito entre Chile y Argentina para la mutua asistencia con personal y equipos en caso de catástrofes, obteniéndose un rápida y adecuada respuesta al disponer el envío de brigadistas pertenecientes a los Parques Nacionales del sur Argentino.

Dirección nacional de Bomberos de Uruguay

La presencia de Bomberos de Uruguay se gestionó desde la Oficina Nacional de Emergencia ante la necesidad de contar con personal especializado que ya no era posible obtener de otras regiones del centro ante la existencia de incendios simultáneos de magnitud y con alerta roja.

Instituto Brasileiro de medio Ambiente (IBAMA)

Su concurrencia fue coordinada a través de la Gerencia de manejo del Fuego ante contactos, conocimiento y experiencias anteriores de capacitación y seminarios entre funcionarios de ambas instituciones.

Cuadro 1—Superficie afectada

Uso del Suelo	P.N. Torres del Paine	Fuera del Parque	Total
Estepa Patagónica/Praderas 	10.272,3	247,3	10.519,6
Matorrales 	4738,6	304,7	5.043,3
Bosques 	1.702,7	-	1.702,7
Otros Usos	340,7	-	340,7
TOTAL	17.054,3	552,0	17.606,3

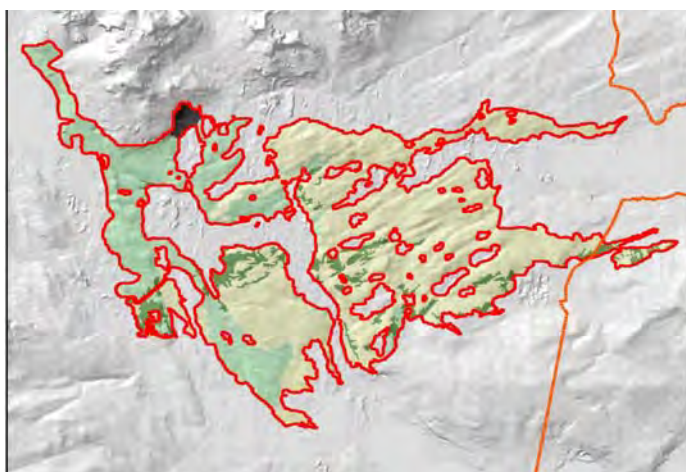
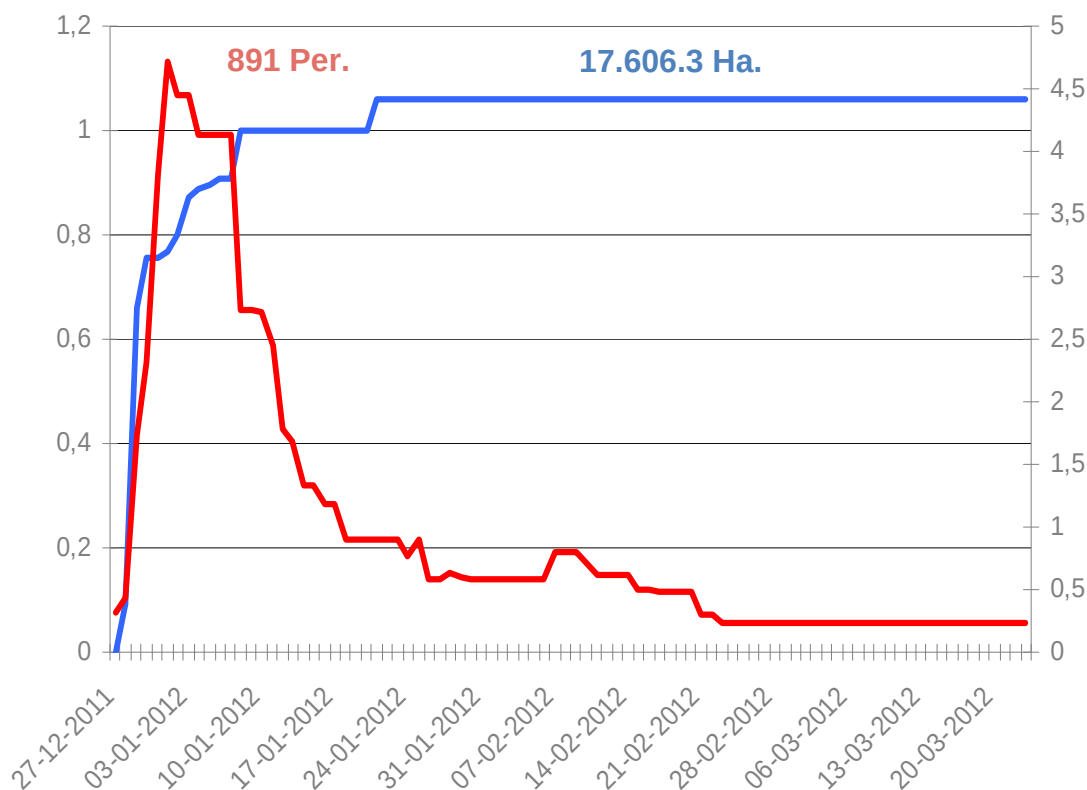


Figura 2— Perímetro del fuego Torres del Paine

Gráfico 1— *Personal en línea versus superficie afectada*

Severidad del fuego en función del impacto sobre las comunidades vegetales

Para evaluar los impactos que este gran incendio tuvo sobre la diversidad de ecosistemas, especies vegetales y animales presentes, y para recabar información que permita proponer medidas inmediatas y recomendaciones de corto y mediano plazo para la recuperación de los ecosistemas afectados, el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) encomendó a un equipo técnico, integrado por destacados profesionales e investigadores de diferentes Instituciones y Universidades Nacionales, desarrollar un informe diagnóstico del daño e impacto sobre las comunidades vegetacionales como base para la propuesta de un Plan de restauración de los ecosistemas afectados en el corto, mediano y largo plazo

En forma paralela, en virtud de un Convenio entre la Corporación Nacional Forestal y el Servicio de Parques Nacionales de los EEUU, un equipo de investigadores realizaron una campaña de terreno, quienes elaboraron un completo informe como Plan de Respuesta Post -fuego (USNPS 2012)

El efecto del fuego sobre la vegetación fue diferente en función de los ecosistemas y de los sectores afectados. En la figura 3 se puede observar el grado de severidad del incendio según el informe Baer (Burned Area Emergency Response) desarrollado por el Servicio de Parques Nacionales Estadounidense (USNPS 2012)

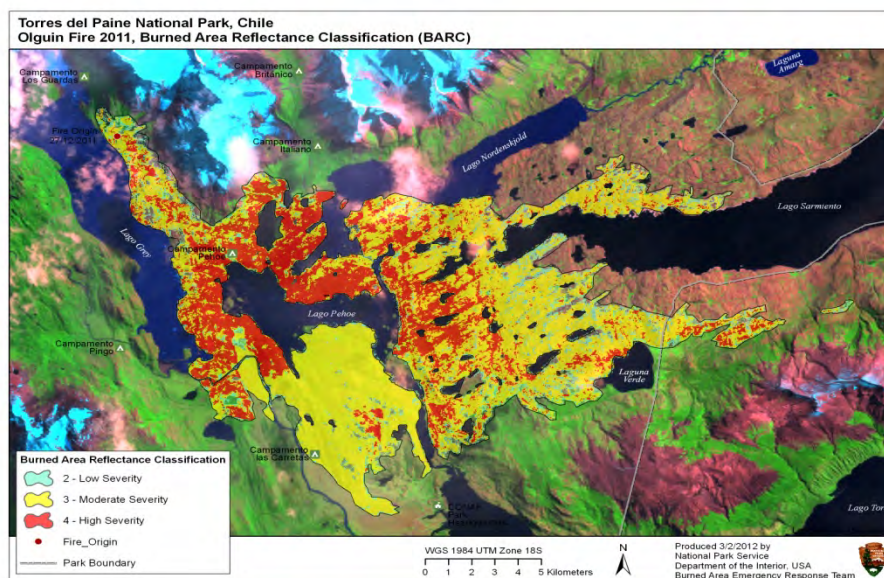


Figura 3— Mapa del incendio Torres del Paine demostrando las diferentes intensidades del incendio durante su duración.

Variación climática de Magallanes

Los incendios forestales son un fenómeno ampliamente extendido en los ecosistemas terrestres del mundo, sensibles al cambio climático global que ya es una realidad, generando condiciones atmosféricas más severas, temporadas estivales más largas e incendios de gran magnitud, todo lo cual ha generado consenso entre organismos técnicos como FAO y otros.

En los ecosistemas de la Patagonia chileno-argentina los incendios forestales están fuertemente influenciados por la variabilidad climática interanual. Años de mayor actividad de incendios están usualmente asociados a inviernos secos y veranos cálidos (Veblen y otros 1999).

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, así lo evidencian datos observados del clima a nivel mundial (IPCC 2007). Por su parte, Chile ha sido evaluado como un país vulnerable al cambio climático. Los estudios proyectados a mitad y hacia fines del siglo XXI, indican una serie de impactos en los recursos naturales, a causa del cambio del régimen hídrico y de temperatura, así como una mayor incidencia de fenómenos climáticos extremos.

La Región de Magallanes y Antártica Chilena es la más austral y extensa del territorio chileno. Se ubica desde los 48°36' hasta los 56°30' de latitud Sur y entre los 66°25' y 75°40' de longitud Oeste. La proximidad a la latitud 60°, la sitúa en proximidad al cinturón de bajas presiones o ciclones subpolares, siendo continuamente afectada por vientos del oeste y el paso de frecuentes sistemas frontales. Con una superficie de 132.297 km² de territorio continental y con 1.250.000 km² de territorio antártico. Cuenta con una impresionante geografía de praderas y bosques naturales, fiordos, golfos, canales, islas, archipiélagos, y más de siete millones de hectáreas bajo el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE), que corresponden a atractivos naturales de interés turístico mundial (INE 2011a) entre ellas el Parque Nacional y Reserva Mundial de la Biosfera Torres del Paine

Respecto del clima actual de Magallanes, en base a la revisión de información secundaria, es posible indicar una tendencia efectiva en el ascenso de la temperatura. Esto es consistente con el calentamiento del planeta, calculado en 0,6°C para el hemisferio Sur en los últimos 130 años (IPCC 2007). Esta tendencia también ha sido detectada en el continente antártico, en donde se ha incrementado casi cinco veces tal cifra, en un período de tan sólo 50 años. Respecto al comportamiento de la precipitación, en general, se mantiene estable, no obstante hay algunas tendencias específicas significativas, como se observa en el Islote Evangelista y en Bahía Félix, evidenciándose una disminución de las precipitaciones de 1.000 mm entre 1900 y 1985 y 1.400 mm entre 1915 y 1985, respectivamente (Endlicher y Santana 1988). De acuerdo con CONAMA (2006), la evolución de la precipitación en la zona centro-sur y austral del país desde mediados de la década de 1970 ha dado paso a una tendencia decreciente que se ha mantenido hasta ahora.

Si bien es cierto, no existen datos concluyentes que permitan aseverar en términos exactos el aumento de la temperatura media durante el periodo estival en la región de Magallanes, ni de la intensidad del viento así como una variación importante en las precipitaciones, si es posible afirmar que el clima de Magallanes se encuentra determinado por factores topográficos, oceánicos y atmosféricos. Estos elementos aportan incertidumbre al conocimiento del comportamiento del clima actual y también a las proyecciones asociadas al cambio climático global, y que sin lugar a dudas producto del mismo se están produciendo cada vez más frecuentemente fenómenos excepcionales fuera de patrones y/o rangos históricos, como es el caso del déficit hídrico, variación en las intensidades del viento y días consecutivos de altas temperaturas que van configurando escenarios complejos que favorecen la ocurrencia de incendios forestales y comportamiento extremo con altas tasas de propagación y resistencia al control.

Conclusiones

Debido a las condiciones regionales especiales que limitan la efectividad en el combate de los incendios forestales, es indudable que solo es posible lograr una respuesta eficiente por medio de una adecuada planificación sobre la base de una evaluación de la ocurrencia y de las pérdidas producidas, mediante una propuesta de medidas de prevención, pronóstico y de combate que efectivamente controlen la iniciación y propagación del fuego, que en el caso de Torres del Paine por sus especiales características topográficas y de los combustibles forestales, se da la perfecta ecuación que representa al riesgo de incendios, donde la amenaza está determinada por el cada vez más importante aumento de la visitación y la vulnerabilidad que representan el estado y condición de los combustibles forestales.

En este contexto, es especialmente relevante la vinculación que existe entre los sistemas humanos y los naturales, y sus respectivas vulnerabilidades, la adaptación implica la **generación de capacidades** en la sociedad para desarrollar, evaluar e implementar opciones a medida que se vayan requiriendo. El trabajo conjunto entre el Gobierno, los técnicos y beneficiarios, son la clave para lograr avances significativos en materia de adaptación al cambio climático (Howden 2010) para lo cual es fundamental educar a la sociedad sobre este nuevo escenario y mejorar las políticas públicas de protección contra incendios forestales.

Finalmente, para dar cumplimiento a la Misión Institucional de “Contribuir al desarrollo del país a través del manejo sostenible de los ecosistemas forestales y a la mitigación de los efectos del cambio climático, mediante el fomento, fiscalización de la legislación forestal - ambiental; la protección de los recursos vegetacionales; y la administración de las Áreas Silvestres Protegidas del Estado, para las actuales y futuras generaciones” resulta fundamental que el manejo y uso público de este emblemático Parque Nacional Chileno se proyecte y desarrolle con una ciencia que integre y compatibilice los objetivos de conservación que justificaron su creación, con un uso sustentable y regulado de sus atractivos turísticos, generando capacidades de adaptación a los nuevos escenarios impuestos por el cambio climático global.

Referencias

- Ministerio de Agricultura – FAO. 2010.** Diagnóstico de la gestión del Riesgo Agroclimático, Chile
- Ministerio de Medio Ambiente. 2012.** Plan de restauración Ecológica del Parque Nacional Torres del Paine afectado por un incendio forestal 2011-2012, Chile.

United States National Park Service. 2012. Burned Area Emergency Response Plan, USA.

Corporación Nacional Forestal Región de Magallanes y Antártica Chilena. 2012.
Documentos e informes técnicos sobre operaciones de combate del Incendio Olguín del
PN Torres del Paine, Chile.

Patrones de Distribución Espacio Temporal de los Incendios Forestales en el Norte de México¹

Gustavo Pérez-Verdin², M. A. Márquez-Linares³, A. Cortes-Ortiz³, y M. Salmerón-Macias²

Resumen

Utilizando una base de datos de la CONAFOR, periodo 2000 al 2011, se realizó un análisis espacio-temporal de la ocurrencia de los incendios forestales en Durango, uno de los estados con mayor afectación en México. Se usó el índice de Moran para determinar un patrón de distribución espacial y se hizo un análisis de estacionalidad y autocorrelación temporal de los datos colectados. Se aplicó la regresión geográficamente ponderada para evaluar si existe estacionalidad en los factores que inciden en su ocurrencia. Los resultados indican que los incendios forestales se distribuyen de manera agregada y no están correlacionados temporalmente. Se encontró que tanto la precipitación, temperatura, altitud, distancia a caminos y el índice de gravedad de población son no estacionarios. La ocurrencia de los incendios se manifiesta de acuerdo a la densidad de población y vías de acceso, lo que confirma la importancia del factor socioeconómico en la distribución de estos eventos. Bajas precipitaciones y altas temperaturas son factores climáticos que también afectan en gran medida la ocurrencia de los incendios.

Palabras clave: Autocorrelación, Bosques de Clima Templado, Durango, México; Estacionalidad, Regresión Geográficamente Ponderada.

Introducción

En México, la mayoría de los incendios forestales se presentan en la primavera y el periodo de ocurrencia se extiende hasta que la vegetación, estimulada por las primeras lluvias, reinicia su periodo de crecimiento y desarrollo (Rodríguez-Trejo and Fulé 2003, Alanís-Rodríguez y otros 2008). La ocurrencia de los incendios depende de muchas variables climatológicas y topográficas (precipitación, altitud, humedad, temperatura, exposición, entre otras) que dependen a su vez de la

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación, y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, nov 5-11 de 2012, Ciudad de México, México.

² Profesor Investigador. Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Durango. Durango, Dgo., México; Email: guperezv@ipn.mx.

³ Estudiante de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Durango. Durango, Dgo., México.

variabilidad temporal (Drury y Veblen 2008). Normalmente, años húmedos dan origen a la formación de una densa y rica cobertura vegetal que eventualmente es el combustible ideal para la ocurrencia de incendios terrestres de mediana a relativamente alta intensidad en el año seco siguiente (Fulé y Covington 1999). De la misma manera, las áreas con orientación norte y de alta elevación tienen menor riesgo de presencia de incendios, mientras que aquellas con orientación sur y suroeste generalmente son más susceptibles a la presencia de incendios (Fulé y Covington 1999).

Las actividades humanas son un factor muy importante que ha influido en la ocurrencia de los incendios forestales en muchas partes de México (Avila y otros 2010). Muchos agricultores utilizan el fuego como la principal herramienta para limpiar los terrenos que son utilizados a su vez para el cultivo de productos básicos como el maíz y frijol o para propiciar el rebrote de pastizales. El mal uso del fuego frecuentemente genera la dispersión de grandes y severos incendios que no solo destruyen la flora y fauna silvestre sino que también afectan directamente a la población en general (Rodríguez-Trejo y Fulé 2003). Cuando el fuego es usado recurrentemente en las mismas áreas, se genera una baja acumulación de material combustible y da origen a incendios de baja intensidad. En contraste, cuando se presentan en áreas grandes y dispersas y de manera esporádica, hay grandes posibilidades de que se generen incendios de moderada a alta intensidad, capaces de eliminar completamente la cobertura arbórea (Fulé y Covington 1999).

El objetivo general de este trabajo es hacer un análisis de los patrones de distribución espacio temporal de los incendios forestales ocurridos en el estado de Durango durante el periodo 2000-2011. De manera particular, el estudio trata de evaluar la autocorrelación espacial, estacionalidad temporal, así como identificar las variables más importantes que influyen en la ocurrencia de los incendios.

Métodos

Área de estudio

El estudio se desarrolló en los bosques de clima templado-frio del estado de Durango. Durango se ubica en el norte del país y cuenta con las mayores reservas forestales de pinos y pino-encino (Figura 1) y es además uno de los más afectados por los incendios forestales (CONAFOR 2012). Cuenta con una gran diversidad topográfica, lo que lo hace importante para estudiar la variabilidad espacial de la ocurrencia de los incendios, y su extensión territorial permite ver el rol de los propietarios de los terrenos forestales en la prevención, control y combate de incendios forestales. Cerca

del 80% de la superficie forestal es propiedad ejidal y por lo tanto su manejo depende en gran medida de la organización de estas comunidades.

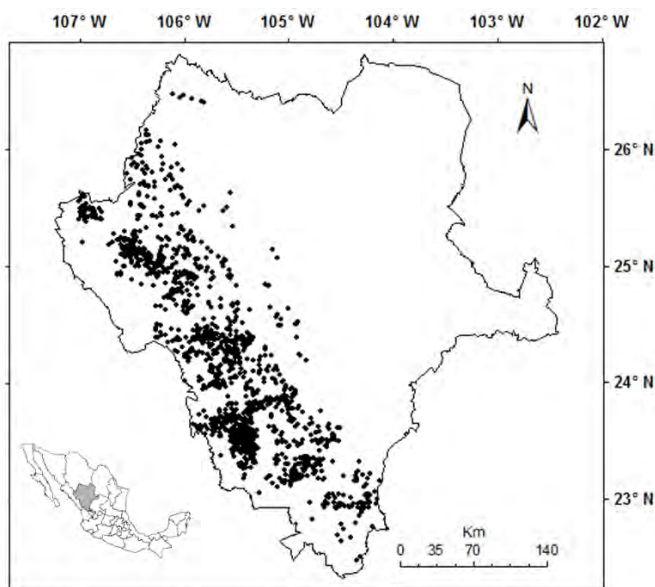


Figura 1—Localización del estado de Durango, México y los incendios forestales ocurridos en el periodo 2000 al 2011.

Análisis espacial

Se utilizó el Índice de Moran (Moran 1950) para estimar la autocorrelación espacial de los incendios forestales en Durango. La autocorrelación es una medida de la distribución de una variable con ella misma a través del espacio (Wong y Lee 2005); si la distribución espacial de esa variable tiene algún patrón distintivo (no aleatorio), se dice que esta espacialmente autocorrelacionada. Este índice puede tomar valores de -1 a 1, donde los valores negativos significan que la variable tiene un patrón de distribución disperso y los positivos tienen un patrón de distribución agregado. Si el índice se aproxima a cero, entonces la variable se dice que tiene un patrón de distribución aleatorio (Wong y Lee 2005). Para probar la hipótesis nula de no autocorrelación, la distribución empírica se compara contra una distribución teórica, utilizando una prueba de significancia que compara valores críticos a un cierto nivel de confiabilidad (Burt y Barber 1996).

Análisis temporal

El análisis temporal consistió básicamente en probar dos propiedades de los fenómenos estocásticos basados en series de tiempo: estacionalidad y autocorrelación temporal. La estacionalidad temporal se define como aquellos procesos en los cuales

sus momentos estadísticos (media, varianza, etc.) no son constantes a través del tiempo (Burt y Barber 1996). Para probar esta propiedad, se construyeron funciones de densidad de probabilidad de la variable de interés Y_t (esto es, superficie afectada por incendio) para cada año t . El efecto de estacionalidad temporal se presenta si las funciones de probabilidad son las mismas para todos los años. Esto es, si la varianza σ_t^2 y media μ_t son constantes para todos los años. En este caso,

$$\sigma_t^2 = E(Y_t - \mu_t)^2 \text{ y } \mu_t = E(Y_t) \quad (1)$$

De la misma manera que la autocorrelación espacial, también se analizó si existe dependencia entre observaciones cercanas en el tiempo. La autocorrelación temporal mide el grado de dependencia de una variable de interés Y en un tiempo t con ella misma en un tiempo $t+k$ (Burt and Barber, 1996); donde k representa el número de periodos de evaluación (en Ingles, denominados como *lags*) y puede tomar diferentes valores. La autocorrelación para el periodo $k=1$, por ejemplo, significa correlacionar la variable Y_t con la misma variable Y_{t+1} en cuyos datos han sido desplazados una unidad de tiempo. La autocorrelación temporal ρ se expresa entonces como:

$$\rho(t, t+k) = \frac{E(Y_t - \mu_t)(Y_{t+k} - \mu_{t+k})}{\sigma_t \sigma_{t+k}} \quad (2)$$

donde σ es la desviación estándar (los otros términos han sido definidos anteriormente). En este caso, ρ también toma valores de 1 a -1, donde el valor positivo sugiere una alta correlación y el valor negativo indica que la variable Y tiende a oscilar con valores arriba del promedio seguidos inmediatamente por valores abajo del promedio. Cuando ρ tiende a cero, significa que no hay correlación en el periodo de tiempo evaluado k (Burt y Barber 1996). Si no hay autocorrelación, significa entonces que su magnitud se manifiesta de forma aleatoria.

Factores que afectan la magnitud de los incendios

Se usó el modelo RGP para estimar la magnitud de los incendios usando la superficie afectada (*Sup*) en función de algunas variables ambientales, económicas y topográficas. El modelo RGP tiene la expresión siguiente (Fotheringham y otros 2002):

$$Sup(u, v)_i = \beta_0(u, v)_i + \sum_{i=1} \beta_i(u, v)_i X + \varepsilon(u, v)_i \quad (3)$$

donde el término (u, v) indica que los parámetros β_0 y β_i (coeficiente de intercepción y pendiente, respectivamente) deben ajustarse en función de la ubicación del punto (incendio) i que cuenta con las coordenadas u y v . Esto significa que cada punto

(incendio) tendrá sus propios coeficientes β_0 y β_i . La variable X indica el conjunto de factores que tienen relación con la magnitud del incendio. El componente $\varepsilon(u,v)$ representa el error asociado al punto con las coordenadas u y v . Este modelo (conocido en Inglés como Geographically Weighted Regression) asume que los puntos son *no estacionarios* y que, en este caso, la magnitud de los incendios varía en función de su ubicación.

El ajuste del modelo se hizo con el apoyo de los parámetros coeficiente de determinación, error estándar y un coeficiente denominado Criterio de Información de Akaike (CIA). Se utilizó un modelo tipo Gaussian donde el ancho de banda fue automáticamente identificado por iteración adaptativa (ver detalles del modelo RGP en Fotheringham y otros 2002, Harris y otros 2011). Para probar la hipótesis nula de no estacionalidad de las variables independientes, se utilizó una prueba de Monte Carlo que compara la varianza observada de los parámetros estimados de cada una de las variables contra un conjunto de datos tomados aleatoriamente. Se estimaron valores de probabilidad para cada una de las variables y se usó un nivel de significancia de 0.05. El procesamiento de los datos se hizo con el programa GWR3.0 ®.

Fuentes de información y datos

Se utilizó la base de datos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), periodo 2000-2011, que incluye además de la ubicación de los incendios, las variables dependientes superficie afectada y número de días requeridos para la extinción del evento. Las variables independientes fueron tomadas de otras fuentes de información. Se utilizó el modelo digital de elevación del Instituto Nacional de Geografía (INEGI) para obtener los datos de altitud y exposición. También se utilizaron mapas temáticos del INEGI para obtener información sobre vegetación, suelos, caminos y poblados. Las variables climáticas precipitación media mensual y temperatura media fueron obtenidas según el año de ocurrencia del incendio de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional. La variable que identifica tipos de propiedad fue obtenida del Registro Agrario Nacional. Con la información recabada fue posible hacer transformaciones o análisis cartográficos a las variables. Por ejemplo, se calculó un índice de gravedad poblacional (*IGP*), expresado como:

$$IGP = \sum_n^N \frac{P_n}{D_{in}^2}, \forall_n: D \leq 20 \text{ km} \quad (4)$$

donde P es la población total de centro de población n , N el número total de pueblos, D es la distancia (radio) entre el incendio i y el poblado n , tomados en un máximo de 20 km a la redonda del incendio. El *IGP* es una medida del efecto de la población en

la ocurrencia de los incendios. Índices altos significan una alta presión humana en la ocurrencia de los incendios. En la Tabla 1, se detallan las características de las variables utilizadas en el estudio.

Tabla 1—Estadísticas descriptivas en el análisis de los factores que afectan la magnitud de los incendios forestales en Durango, México (Tamaño muestra=1560).

Variable	Descripción	Promedio	Desv.	Min	Max
			Estand.		
SUP	Superficie (Ha)	84.0	215.24	0	2600
IGP	Indice de Gravedad de Población	15.0	17.83	0	76
CAMINOS	Distancia a caminos (Km)	1814	1870	0	13101
LOCALID	Distancia a localidades (Km)	3417	2228	10	11774
PASTIZAL	Distancia a zonas de pastizal (Km)	2819	2329	0	9983
CULTIVOS	Distancia a zonas de cultivo (Km)	3556	2750	0	9997
DEFOREST	Distancia a zonas deforestadas (km)	6257	5053	0	28569
PRECIP	Precipitación (mm)	607	191	174	1233
TEMP	Temperatura (°C)	16.0	1.83	12	28
REGPROP	Régimen de propiedad (1: ejidos; 2:particular)	1.2	0.43	1	2
PEND	Pendiente (%)	11.5	9.6	0	52
EXPO	Exposición (grados azimuts)	178	108	0	360
ALTITUD	Altitud (msnm)	2437	301	753	3124

Resultados y discusión

Análisis espacial

Se aplicó el Índice de Moran (I_M) para determinar la existencia de autocorrelación espacial de los incendios forestales utilizando sus coordenadas geográficas X y Y (longitud y latitud) y en ambos casos el coeficiente resultó con un valor positivo de 0.88 y 0.74, respectivamente. La prueba de hipótesis nula de no autocorrelación fue rechazada debido a que el coeficiente $Z(I_M)$ fue de 6.14 ($p<0.001$) para X y 5.22 para Y ($p<0.001$). Esto significa que los incendios tienen un patrón de distribución *agregado*, con alta concentración alrededor de los caminos y centros de población.

Para analizar áreas críticas de presencia de incendios se hizo un análisis de los focos calientes en cuanto a la superficie afectada y al número de días requeridos para su extinción. La figura 2 muestra los ‘focos rojos’ (*hotspots*) o lugares con alto impacto por los incendios forestales así como aquellos ‘focos fríos’ donde el efecto es menor. Existen entre 5 o 6 ‘focos rojos’ en la entidad y se localizan en lugares poco accesibles y lejanos a los centros de población. En contraste, los ‘focos fríos’ se

localizan alrededor de los núcleos poblacionales de El Salto, Pueblo Nuevo y San Miguel de Cruces, San Dimas. Es importante mencionar que los focos fríos se ubican en las áreas donde actualmente existe una mayor participación de los propietarios de los terrenos forestales. La zona de San Miguel de Cruces, municipio de San Dimas y El Salto, municipio de Pueblo Nuevo, se caracterizan por tener una alta organización social donde la participación de los dueños y poseedores, no solo en el combate de incendios, sino en todas las actividades de restauración y manejo, es muy positiva. Si bien es cierto que existe una alta frecuencia de incendios, éstos son controlados más eficientemente, es decir, en menor tiempo y con una menor superficie afectada.

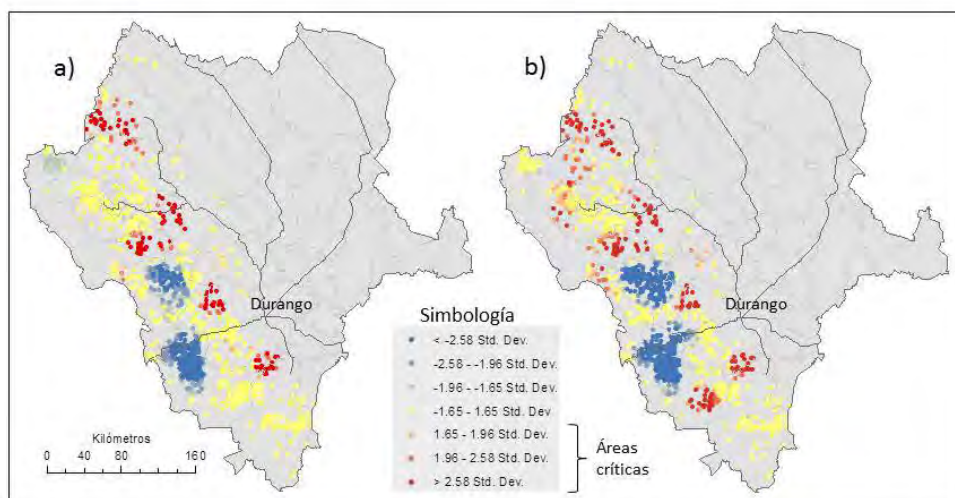


Figura 2—Áreas críticas de los incendios forestales en Durango. Los puntos de color rojo significan focos calientes mientras que los de color azul focos fríos. La figura 4a) representa focos rojos en cuanto a superficie mientras que la figura 4b) representa el número de días para la extinción.

Análisis temporal

Para evaluar la estacionalidad temporal, se construyeron funciones de densidad de probabilidad de la variable de interés (esto es, superficie afectada por incendio) en cada año. Se estimó el promedio y la varianza y se analizó la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Los resultados indican que la función de densidad de probabilidad mas común fue la de Log-Pearson III, la cual se repite en 5 de los 12 años que comprende el estudio. Sin embargo, el promedio y la varianza en cada uno de los años es diferente. La prueba de Levene y el análisis de varianza de una vía muestran que tanto la varianza ($L=18.012$, $p<0.001$) como el promedio de la superficie afectada ($F=8.995$, $p<0.001$) respectivamente, son estadísticamente diferentes. La excepción se observa en el periodo 2004-2005 en donde se obtuvo la misma densidad de probabilidad (Log-Pearson III). Sin embargo, la prueba de t revela que si hay diferencias significativas en las varianzas y los promedios de estos

dos años. Por lo tanto, los resultados muestran que en el periodo evaluado no existe homogeneidad de varianzas en la información de superficie afectada por los incendios forestales y que este fenómeno es un proceso no estacionario. En otras palabras, la ocurrencia de los incendios, expresada en este caso por la superficie afectada, se manifiesta de manera totalmente aleatoria en cada año. Este fenómeno es muy similar a la precipitación, en el cual puede presentarse un año muy húmedo, pero el siguiente muy seco.

Para observar variaciones temporales a mayor detalle, se estimó el coeficiente de autocorrelación temporal, el cual mide el grado de dependencia de la superficie afectada en un tiempo t con ella misma en un tiempo $t+k$. Se utilizaron varias categorías y periodos de tiempo k . Se estimó un coeficiente diario, mensual y anual y en cada categoría se utilizaron hasta 10 periodos de rezago (*lags*) para observar la consistencia de los resultados. Los resultados indican que en la correlación diaria se encontró un coeficiente que varía entre 0.08 y 0.20 ($p < 0.05$), lo cual indica que si existe autocorrelación pero ésta es muy baja. En el caso de la autocorrelación mensual y anual, a pesar de tener coeficientes relativamente altos (0.33 a -0.77), ésta no fue estadísticamente significativa en ninguno de los periodos ($p > 0.05$). Los resultados indican que hay una ligera autocorrelación diaria, esto es, la cantidad de superficie que se quema en un día influye positivamente, motivado quizás por las condiciones climáticas diarias, en la cantidad de superficie que se quema en el siguiente día. Sin embargo, esto no sucede en los casos de la autocorrelación mensual y anual. En estos casos, en concordancia con la prueba de Levene, la superficie afectada se manifiesta de manera aleatoria.

Regresión geográficamente ponderada (RPG)

El análisis individual de las medianas de los parámetros de los factores del modelo RGP que inciden en la magnitud de los incendios muestra que tanto la distancia a zonas de pastizal, distancia a zonas de cultivos, precipitación, pendiente y exposición son negativas. El resto de los parámetros de los factores toma valores positivos (Tabla 2). Esta tabla muestra que, con base en la prueba de Monte Carlo, en los factores índice de gravedad de población (IGP), distancia a caminos (CAMINOS), precipitación (PRECIP), temperatura (TEMP) y altitud (ALTITUD) se rechaza la hipótesis de estacionalidad espacial y se concluye que estos factores son significativamente no estacionarios en el área de estudio. La característica de no estacionalidad sugiere que la magnitud de los incendios forestales no sigue un patrón constante de variabilidad y que esta influenciada por la posición geográfica del incendio. Por ejemplo, los incendios que geográficamente están más cerca de los caminos tienen relativamente menor superficie afectada que aquellos en donde la

distancia es más grande. Esto puede deberse a que en las zonas con mayor distancia, el combate y control de los incendios se dificulta y por tanto tienden a afectar más superficie que en aquellas áreas donde el acceso es relativamente fácil. Estas diferencias no podrían ser detectadas por el modelo global (RLS) en el cual se asume que la distancia a los caminos tiene un efecto constante en la superficie afectada. La posición geográfica del incendio determina el grado de influencia de estos factores en la magnitud de los incendios forestales.

Tabla 1—Rangos de los parámetros de los factores según el modelo de regresión local (RGP) para la superficie afectada por incendios forestales en Durango, México.

Variable	Min	Primer cuartil	Mediana	Segundo cuartil	Max	Prueba de Monte Carlo (Valor de p)
Intercepto	-3209.9	-1612.4	-459.06	-31.697	800.56	0.06
IGP	-3.587	-0.379	-0.079	3.619	5.054	0.00***
CAMINOS	0.002	0.011	0.030	0.044	0.082	0.02*
LOCALID	0.004	0.010	0.015	0.024	0.034	0.30
PASTIZAL	-0.013	-0.005	-0.002	0.001	0.018	0.48
CULTIVOS	-0.014	-0.003	-0.001	0.002	0.008	0.32
DEFOREST	-0.011	-0.002	0.000	0.002	0.008	0.06
PRECIP	-0.365	-0.222	-0.184	-0.055	-0.024	0.02*
TEMP	-15.374	2.772	14.771	56.434	121.841	0.05*
REGPROP	-71.188	-3.483	7.907	18.228	36.430	0.64
PEND	-4.215	-2.268	-1.060	-0.562	0.002	0.35
EXPO	-0.183	-0.062	-0.018	0.028	0.239	0.80
ALTITUD	-0.173	0.008	0.094	0.327	0.647	0.05*

*** = significativo al 0.1% de confiabilidad; ** = significativo al 1%; * = significativo al 5%.

Los factores distancia a caminos (CAMINOS), distancia a localidades (LOCALID) y precipitación (PRECIP) muestran consistencia en los signos, es decir no registran cambios en sus valores máximos, intermedios y mínimos. Los dos primeros tienen una relación directa, mientras que PRECIP tiene una relación inversa con la magnitud de los incendios. Avila y otros (2010) detectaron que entre los factores más importantes que inciden en la ocurrencia de los incendios se encuentran la susceptibilidad de la vegetación al fuego, intensidad en el cambio de uso del suelo y la precipitación. En el caso de la precipitación, factor común en nuestro estudio, encontraron que este factor tiene una influencia directa en el número de incendios. Esto es algo contradictorio ya que altas precipitaciones en cierto año tienden a reducir el número de incendios o la cantidad de superficie afectada de ese mismo año.

Los resultados del modelo RGP confirman que la magnitud de los incendios esta fuertemente influenciada no solo por factores ambientales (precipitación, temperatura, altitud), sino también por factores socioeconómicos (índice de gravedad de población, distancia a caminos y distancia a localidades). Es poco lo que se puede hacer para mitigar el efecto de los primeros, pero es mucho lo que se puede hacer para reducir el efecto de los segundos. Si bien es cierto que los incendios que se localizan cerca de los caminos y poblados son de magnitud baja, su frecuencia constante y recurrente incrementa el costo de oportunidad y disminuye la posibilidad de atender otras prioridades. Rodríguez-Trejo y Fulé (2003) discuten una serie de medidas que pueden implementarse para reducir el efecto negativo del fuego. Sus propuestas de manejo son divididas en los casos cuando los incendios son excesivos, normales (apropiados) o insuficientes.

Finalmente, para observar a detalle las posibles variaciones del efecto combinado de todos los factores, se realizó un análisis de los valores predichos y residuales del modelo local (RGP). Utilizando un sistema de información geográfica, se construyó un mapa que indicara las diferencias entre la superficie afectada y la predicha (Figura 3). El análisis de frecuencias revelan que el 84% del valor de los residuales de todos los incendios se ubican en la parte media de la tabla; es decir entre -82 y 82 has (-0.5 a 0.5 desviaciones estándar). Esto sugiere que las diferencias entre los valores de la superficie observada y predicha por el modelo local, en su mayoría, se concentran alrededor del cero y que en general el modelo es aceptable. El promedio de los residuales es igual -0.94 ha, mientras que la mediana es igual a -12.3 ha.

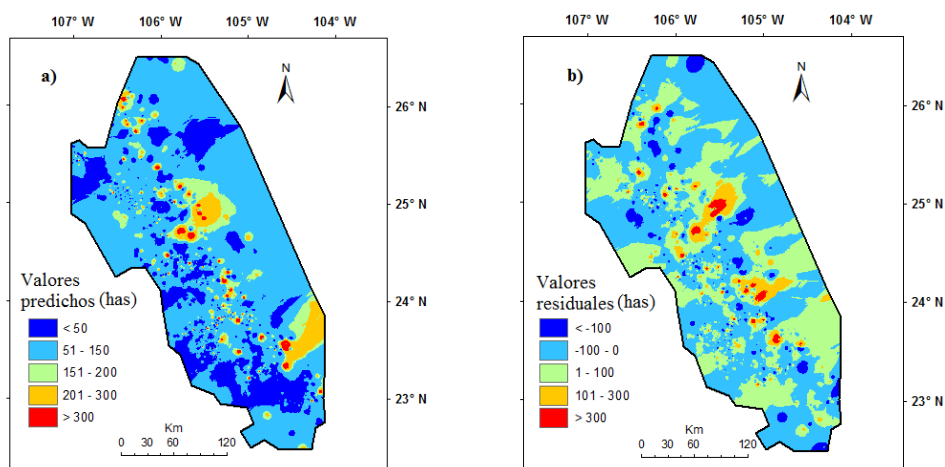


Figura 3—Análisis espacial de los resultados del modelo RGP en Durango, Mexico. Figura 3a) muestra los valores predichos mientras que la Figura 3b) muestra los valores residuales.

Sumario

De acuerdo con los resultados, los incendios en el estado de Durango se distribuyen espacialmente de manera agregada y son no estacionarios temporalmente. El modelo de regresión geográficamente ponderado es una herramienta muy adecuada para el estudio de fenómenos como los incendios forestales. Este modelo, a diferencia del método de regresión lineal simple, asigna una ponderación diferente a medida que las observaciones incrementan su distancia y se hacen mas disimilares. Ayuda también a identificar factores que tienen un efecto constante o variable de acuerdo a la posición geográfica. Los factores más importantes que inciden en la magnitud de los incendios se pueden clasificar como de tipo ambiental (precipitación, temperatura y altitud) y socioeconómico (distancia a caminos, distancia a localidades e índice de gravedad de población). Los factores índices de gravedad de población (IGP), distancia a caminos (CAMINOS), precipitación (PRECIP), temperatura (TEMP) y altitud (ALTITUD) son no estacionarios en el área de estudio y en el periodo de tiempo analizado. La posición geográfica del incendio determina la influencia de estos factores sobre la magnitud de los incendios forestales. Se recomienda el uso de estas herramientas estadísticas en estudios que analicen variables estocásticas.

Agradecimientos

Este estudio se desarrolló con financiamiento del Instituto Politécnico Nacional, proyecto SIP 20110943, CONACYT y de la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas (COFAA- IPN). Agradecemos a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) Gerencia Durango y a la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional por los apoyos recibidos en la recolección de datos.

Referencias

- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Espinoza-Vizcarra, D., Jurado-Ybarra, E., Aguirre-Calderón, O.A., González-Tagle, M.A. 2008. Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el parque ecológico Chipinque, México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 14(2): 113-118
- Avila, F.D., Pompa, G.M., Antonio, N.X., Rodríguez, T.D., Vargas, P.E., Santillán, P.J. 2010b. Driving factors for forest fire occurrence in Durango State of Mexico: A geospatial perspective. Chinese Geographical Science 20(6): 491-497.
- Burt, J.E., Barber, G.M. 1996. Elementary statistics for geographers. The Guilford Press: New York, NY.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2012. Reporte nacional de incendios forestales. Publicación interna de trabajo. CONAFOR. Guadalajara, Mex. Disponible en <http://www.mexicoforestal.gob.mx/files/120427%20reporte%20nacional%20incendios.pdf> (Ultimo acceso Mayo 12, 2012).

- Drury, S.A., Veblen, T.T. 2008.** Spatial and temporal variability in fire occurrence within the Las Bayas forestry reserve, Durango, Mexico. *Plant Ecology* 197: 299–316.
- Fulé, P.Z., Covington, W.W. 1999.** Fire regime changes in La Michilia Biosphere Reserve, Durango, Mexico. *Conservation Biology* 13(3): 640-652
- Fotheringham, A., Brunsdon, C., Charlton, M. 2002.** Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships. West Sussex, England: John Wiley & Sons, LTD.
- Harris, P., Brunsdon, C., Fotheringham, A.S. 2011.** Links, comparisons and extensions of the geographically weighted regression model when used as a spatial predictor. *Stoch. Environ. Res. Risk. Assess.* 25: 123 – 138.
- Moran, P.A.P. 1950.** Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37: 17–23.
- Rodríguez-Trejo, D.A., Fulé, P.Z. 2003.** Fire ecology of Mexican pines and fire management proposal. *International Journal of Wildlife Fire* 12:23-37.
- Wong, W.S.D., Lee, J. 2005.** Statistical analysis of geographic information with ArcView GIS and ArcGIS. John Wiley Inc. New York, NY.

Distribución Espacial de los Valores de Mercado y de No Mercado en el Manejo de los Incendios Forestales en Áreas Naturales: Un Estudio de Caso¹

John W. Benoit, Armando González-Cabán, Francis M. Fujioka, Shyh-Chin Chen, y José J. Sanchez²

Resumen

Hemos desarrollado una metodología para evaluar la eficacia de los tratamientos de los combustibles mediante la estimación de sus costos y sus costos/pérdidas potenciales con y sin tratamientos en el Distrito Forestal de San Jacinto del Bosque Nacional de San Bernardino, California. Este distrito es un típico complejo forestal del sur de California que contiene una gran cantidad de bienes raíces de alto valor. Elegimos cuatro lugares para representar los diferentes tipos de uso del suelo - bienes raíces, mezcla de bienes raíces y área natural, uso recreativo y de no uso. Dentro de cada sitio, ejecutamos iterativamente el modelo de simulación de incendios FARSITE usando diferentes lugares de inicio y escenarios climáticos aleatorios. Los datos meteorológicos para las simulaciones se extrajeron de ambos, un flujo de datos de una estación meteorológica automática remota, y un modelo meteorológico de alta resolución.

Estas simulaciones se repitieron para incorporar la supresión de incendios simulados y los tratamientos de combustibles. Definimos heurísticas para simular las tácticas de supresión basadas en las tasas de producción de línea de fuegos reales. Los recursos de supresión de incendios se simularon e incorporaron en las simulaciones de propagación de incendios. Simulamos tratamientos de combustibles mediante la aplicación de los datos de tratamiento recogidos sobre el paisaje y el ajuste de modelos de combustibles utilizando ArcFuels, una herramienta de manejo de combustibles y evaluación de riesgos basada en SIG.

El valor económico de cada tipo de uso de la tierra en el área natural de San Jacinto se estimó espacialmente utilizando datos del avalúo fiscal, valores de recreación y de los recursos hídricos. Los costos de la supresión y los tratamientos fueron estimados a partir de datos reales.

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales; noviembre 5-11 de 2012; Ciudad de México, México.

² Especialista en Computación, Investigador Económico, Investigador Meteorológico Emérito, Meteorólogo, y Matemático Estadístico, respectivamente; USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 4955 Canyon Crest Drive, Riverside, CA 92507, USA; jbenoit@fs.fed.us, agonzalezcaban@fs.fed.us, fmfujioka@fs.fed.us, schen@fs.fed.us, jsanchez@fs.fed.us.

Palabras clave: toma de decisiones, FARSITE, simulación de propagación del fuego, tratamientos de combustibles, SIG, simulación Monte Carlo, Área Natural de San Jacinto.

Introducción

Las preguntas más frecuentes en la comunidad del manejo del fuego tienen que ver con el riesgo, el costo y la eficacia de los tratamientos de los combustibles y extinción de incendios. Sin embargo, la cuantificación de tales valores es a menudo difícil, si no imposible. Así, muchas decisiones costosas de planificación de incendios se basan en corazonadas. Sería de gran ayuda a los planificadores tener mejores estimaciones de los costos y beneficios de diferentes estrategias. En este estudio, hemos desarrollado una metodología para proporcionar dichos costos y beneficios estimados.

El Distrito Forestal de San Jacinto (SJRD, por sus siglas en inglés) en el Bosque Nacional de San Bernardino se encuentra en medio de una región muy poblada del sur de California. Contiene una mezcla de área natural y casas de alto precio, y es un lugar favorito para las actividades recreativas. La amenaza de incendios forestales en este distrito es un problema grave, ya que hay un gran potencial para la destrucción, monetaria y medioambientalmente hablando, y en términos de la vida. Para nuestro estudio, reunimos varias capas de datos para San Jacinto, incluyendo información geográfica, climatológica y económica.

Desarrollo de la capa de datos económicos

Estimamos los valores económicos espacialmente examinando tres fuentes: bienes raíces, el uso recreativo y el costo de reposición de agua. Los valores de los bienes raíces se obtuvieron mediante los datos de los avalúos de impuestos inflados a valores de 2005. La mayoría de las viviendas de altos precios se encontraba en Idyllwild. Gran parte de los alrededores tenía poca o ninguna vivienda (Figura 1). Las atracciones recreativas incluyeron 128 kilómetros de rutas de senderismo y un funicular aéreo desde la zona de Palm Springs que atrae a 350,000 visitantes al año. Dos estaciones de guardabosques y una oficina del parque estatal expiden permisos de uso a los visitantes, lo que permite el seguimiento y regulado de la visita anual. El valor de uso recreativo se obtuvo a partir de estos permisos. Por último, el valor de los recursos hídricos se estimó considerando el costo de reemplazar los suministros de agua que se contaminarían debido a la erosión post-incendio. Las tres fuentes de valor económico fueron entonces agregadas en una capa de datos espaciales. La capa de datos estimó los valores económicos totales de cada píxel de 30 metros cuadrados

en el SJRD.



Figura 1—El Distrito Forestal de San Jacinto. La comunidad de Idyllwild-Pine Cove cerca del centro del distrito representa la mayor parte de su área desarrollada. Fuente: Google Maps.

Simulaciones de incendios por lotes

Recogimos varias capas de datos geográficos para el distrito, como un mapa de valores de elevación. Un mapa del modelo de los combustibles se obtuvo del sitio web FRAP del Departamento de Silvicultura y Protección contra Incendios de California (FRAP 2007). Este mapa identificó la disposición observada de modelos de los combustibles en el SJRD, en 2004. Los modelos de los combustibles se utilizan en la modelación del comportamiento del fuego.

Elegimos cuatro sitios dentro del distrito para representar diferentes usos de la tierra: los Bienes Raíces, el Límite de los Bienes Raíces, Sólo Recreación, y el No Uso. El sitio de los Bienes Raíces representó propiedades de alto valor y tuvo su epicentro en el pueblo de Idyllwild. El sitio del Límite de los Bienes Raíces fue ubicado en un área que consta de aproximadamente de la mitad de los bienes raíces (Idyllwild) y la otra mitad de un área natural no desarrollada. Fueron seleccionadas dos áreas a lo largo de la carretera principal que atraviesa el distrito de San Jacinto para representar el uso de Sólo Recreación. Por último, un área generalmente inaccesible y no utilizada fue elegida para representar el sitio de No Uso. Todos los sitios tienen la misma superficie de aproximadamente 12.6 kilómetros cuadrados (Figura 2).

Dentro de cada uno de los cuatro sitios, 100 pares de coordenadas x-y fueron seleccionados al azar y de manera uniforme. Estos lugares sirvieron como puntos de ignición simulados de incendios para el modelo de fuego utilizado. Además, para cada sitio se seleccionaron al azar 100 tiempos de inicio sin reemplazo desde el 1 de

junio de 2005 al 10 de julio de 2006. Para este periodo habíamos modelado por hora datos de viento y meteorología cuadriculados con espaciamiento de 1 km para la zona de San Jacinto usando el Modelo Espectral de Meso-escala (MSM [por sus siglas en inglés], Juang 2000). La simulación fue realizada forzando el MSM en un análisis operativo con espaciamiento de aproximadamente 60 kilómetros de los Centros Nacionales de Predicción Ambiental.



Figura 2—Ubicación de los sitios de estudio seleccionados en el Distrito Forestal de San Jacinto.

Además, la temperatura, humedad relativa y precipitación se utilizaron en el modelo de fuego como un flujo único de valores por hora representando el dominio de la modelación total. Los datos para estas variables provinieron de la estación meteorológica Keenwild, situada cerca de Idyllwild, y se recogieron para el mismo período que abarcaron los datos de viento cuadriculados del Modelo Espectral Regional (MER).

Cada combinación única de los lugares y horarios de inicio aleatoriamente seleccionados en cada sitio definió el escenario para una simulación de crecimiento de incendio particular. Utilizamos la versión 4.1.0 del simulador de área de incendio FARSITE para realizar las carreras simuladas para estos escenarios. FARSITE es una herramienta popular entre los gerentes de distritos de incendios en los Estados Unidos para predecir tanto la quema prescrita como el comportamiento de los incendios forestales. Por lo general se ejecuta como una aplicación de Microsoft Windows, lo que permite al usuario visualizar el comportamiento del fuego predicho dados el terreno, los combustibles y el clima como parámetros de entrada. La salida también puede incluir archivos de cuadrícula ráster de los tiempos de llegada, las intensidades de la línea de fuego, las longitudes de llama, y las tasas de propagación, así como los archivos vectoriales de los perímetros de incendios simulados (Finney 1998).

Creamos una versión de línea de comandos del programa que pudiese ser

conducida de forma iterativa por un script Perl. El script utilizó diferentes parámetros de entrada para cada ejecución basada en los lugares y los tiempos de inicio aleatorios. Las condiciones de terreno y de combustibles en y alrededor de cada lugar, junto con las condiciones climáticas, determinarían el comportamiento del fuego modelado. Establecimos un máximo de seis horas de tiempo de simulación en cada ejecución. Los incendios reales queman mucho más tiempo que este límite de tiempo; sin embargo, la intención era modelar los incendios que evolucionan libremente sin actividad de supresión significativa encausada.

Un total de 40,000 intentos de simulación de incendios de evolución libre fueron realizados (100 ubicaciones x 100 tiempos de partida x 4 sitios). Cada ejecución produjo una rejilla de salida de los valores de tiempo de llegada sobre las mismas celdas de 30 metros en las que las capas de datos del paisaje de entrada se dividieron. El tiempo de llegada de cada célula es la cantidad de tiempo (en horas) que el incendio demoró desde el punto de ignición hasta cada celda. Todas las rejillas de tiempo de llegada de cada simulación de carrera completada de cada sitio fueron compiladas en una rejilla resumen, donde los valores de las celdas representaron el número total de veces que tuvieron valores de tiempo de llegada positivo durante las ejecuciones. Esta rejilla resumen podría ser interpretada como un histograma de dos dimensiones, lo que indica con qué frecuencia cada celda fue "quemada" durante los incendios simulados. Las probabilidades estimadas de quema se obtuvieron dividiendo los valores de las celdas por el número de ejecuciones exitosas. El multiplicar esta rejilla de valores de probabilidad por la capa de datos económica produjo un mapa de pérdidas esperadas debido a los incendios forestales.

Modelación de supresión de fuego

Después del conjunto inicial de simulaciones de evolución libre, un segundo conjunto se realizó usando los mismos lugares y horarios aleatorios, pero incluyendo la supresión del fuego simulado. Desarrollamos un sistema para las acciones de extinción predefiniendo tácticas como un conjunto de reglas para su uso en FARSITE. FARSITE permitió obstrucciones al crecimiento del fuego a ser especificadas, dadas las rutas punto a punto y las tasas o longitudes de cobertura. Definimos un conjunto de recursos de extinción de incendios para las acciones de extinción, que emuló los recursos reales que podrían estar disponibles en un distrito forestal (Cuadro 1), e incluyó las tasas de producción y costos. Los atributos de los recursos fueron tomados de las estimaciones que figuran en los estudios de asignación de recursos (Donovan y Rideout 2003, Wiitala 1999) y ajustados por el Índice de Precios al Consumidor de los Estados Unidos.

A estas simulaciones de incendios se les permitió ejecutar sin restricciones para

la primera hora para modelar el tiempo entre que el fuego se enciende y su extinción comienza. Después de la hora inicial, estas simulaciones se ejecutaron por sólo cinco horas de tiempo de simulación, y por lo tanto eran simulaciones de seis horas como las de evolución libre. Como en el caso no suprimido, un total de 40,000 simulaciones fueron ejecutadas. El script de conducción modificó tácticas de extinción dado el perímetro de la primera hora (no suprimido) de cada incendio. Los costos de los recursos utilizados durante cada simulación se incluyeron con la salida de la rejilla del tiempo de llegada. Otro mapa de pérdidas esperadas fue entonces producido, utilizando el mismo método que con las simulaciones no suprimidas.

Cuadro 1—Recursos de supresión modelados en simulaciones de incendios.

Recurso	Cantidad	Costo
Tipo II Brigada con herramientas manuales	2	Tarifa fija:\$1260.69 Por hora: \$ 160.96
Tipo I Brigada con herramientas manuales - “Hotshots”	1	Tarifa fija:\$1600.01 Por hora: \$ 225.35
Motor - 600 galones de capacidad	1	Tarifa fija:\$ 435.35 Por hora: \$ 76.56
Motor - 1000 galones de capacidad	1	Tarifa fija:\$ 317.62 Por hora: \$ 76.56
Avión cisterna – 1200 galones de capacidad	1	Por descarga: \$9271.71
Avión cisterna –200 galones de capacidad	1	Por descarga: \$5150.95
Helicóptero – 375 galones de capacidad	1	Por descarga: \$1064.65
Helicóptero – 1000 galones de capacidad	1	Por descarga: \$2839.06

Modelación de los tratamientos de los combustibles

Los costos y le eficacia de los tratamientos de los combustibles en el SJRD fue de interés. Incorporamos los efectos del tratamiento de los combustibles en nuestras simulaciones mediante la obtención de información del tratamiento real para el SJRD para 2004-2010 (Región 5 – Datos Geoespaciales 2012). Estos registros incluyeron descripciones de las actividades de tratamiento y los costos. La mayoría de los tratamientos ocurrieron alrededor de Idyllwild o a lo largo de las principales carreteras a través de la región forestada. Un nuevo mapa de los modelos de combustibles fue construido usando ArcFuels que presentó los efectos de los tratamientos de los combustibles sobre la zona (Vaillant y otros 2012). Re-ejecutamos las simulaciones de incendios no suprimidos (40,000) usando el mapa de combustibles modificados y toda la información original. Como antes, creamos un mapa de las pérdidas esperadas basado en estas ejecuciones. Para calcular los costos

para las cuatro áreas de estudio (Figura 3), fue necesario asignar los tratamientos a una sola área cada uno. Esto permitió que los costos de los tratamientos fuesen agregados y usados para representar los costos de prevención totales para cada área de estudio.

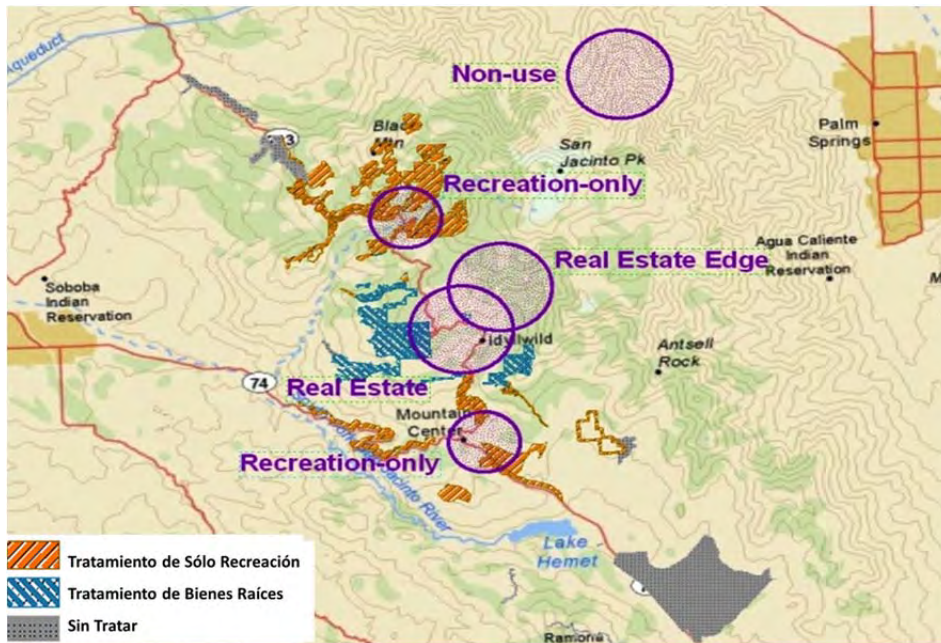


Figura 3—Tratamientos de combustibles aplicados al Distrito Forestal de San Jacinto desde 2004 hasta 2010. Las áreas de estudio de Sólo Recreación y de los Bienes Raíces fueron asignados los costos de los tratamientos cercanos. Los costos de los tratamientos alejados de los sitios de estudio no se tuvieron en cuenta. Los sitios del Límite de los Bienes Raíces y los de No Uso no tuvieron costos de tratamiento, ya que no había ninguno en su proximidad.

Modelación combinada

Por último, realizamos un conjunto de ejecuciones de simulación de incendios suprimidos sobre el paisaje tratado. Estas ejecuciones fueron similares a las ejecuciones anteriores en todos los demás aspectos, además de la utilización de los combustibles tratados, y los recursos y las reglas de supresión. La salida fue guardada nuevamente y procesada para producir un mapa de las pérdidas esperadas.

Resultados

Intentamos un total de 160,000 ejecuciones de simulación, pero se produjeron algunas situaciones problemáticas¹. Todas las simulaciones de FARSITE se

¹ Debido a limitaciones de espacio éstas no son presentadas aquí y no son consideradas en los resultados.

ejecutaron de manera determinista – efectos tales como pavesas aleatorias fueron desactivados. El no tener ningún componente aleatorio en el modelo de fuego implicó que las diferencias del perímetro pudiesen atribuirse únicamente a determinados puntos de ignición, escenarios climáticos, y a usar o no usar la supresión o los tratamientos de los combustible.

La figura 4 muestra gráficos de los costos totales simulados empleados para la protección, la superficie total quemada de ejecuciones exitosas, y las pérdidas debidas a los daños. Los gráficos de costos representan el dinero gastado en los recursos de extinción, en los tratamientos de combustible, o en ambos. Los sitios del Límite de los Bienes Raíces y de No Uso no tuvieron costos de tratamiento, porque ninguno se aplicó en estas áreas. Además, la proximidad de los tratamientos aplicados al sitio de Bienes Raíces dio lugar a diferencias en el Límite de los Bienes Raíces tratados *versus* los casos no tratados.

Calculamos la pérdida de la capa de datos económicos desarrollada que fue discutida anteriormente. La pérdida fue acumulada a partir de los valores económicos de los píxeles 'quemados' para todas las ejecuciones de simulación, para cada uno de los cuatro sitios. En general los valores de pérdida total tendieron a ser excesivamente grandes, debido en parte a la inclusión de la pérdida de propiedades inmobiliarias de alto precio (sobre todo en el área de Idyllwild) en los valores.

La superficie total quemada es la suma de los tamaños del perímetro final (6 horas) de las simulaciones de incendios para cada caso. Como era de esperarse, en la mayoría de los casos, la superficie quemada fue reducida cuando se aplicaron los esfuerzos de supresión simulados. En los casos suprimidos para los sitios de los Bienes Raíces y los del Límite de los Bienes Raíces, el agregar tratamientos pareció de hecho *aumentar* la pérdida y la superficie quemada (Cuadro 3). Esto puede indicar que los parámetros de combustibles están mal especificados o que los mapas de combustibles utilizados en el modelo de fuego son inexactos. Este fenómeno también puede ser debido al cambio de los tipos de combustibles 'desacelerando' la tasa de producción de la línea de brigadas simuladas y por lo tanto permitiendo más fuegos escapados. Se necesitarán más análisis para revelar la causa del aumento de la superficie quemada en los casos tratados y suprimidos. Además, en los casos no suprimidos de los sitios de los Bienes Raíces y de los del Límite de Bienes Raíces, las superficies quemadas disminuyeron cuando se aplicaron los tratamientos, pero las pérdidas *aumentaron*. Esto puede suceder si un tipo de combustible fue cambiado a uno que permitió a los incendios quemar menos píxeles, pero de más altos valores, que antes de los tratamientos - un efecto indeseable.

Finalmente, hubo dos situaciones en las que la adición de supresión a los incendios en paisajes tratados pareció aumentar ligeramente la pérdida (sitio de Sólo Recreación) o superficie quemada (sitio de Bienes Raíces). Esto ocurrió

probablemente porque la línea de fuego simulada se incluye en el tamaño del fuego calculado para cada ejecución. Si los esfuerzos de supresión no alteraron considerablemente el tamaño final del perímetro de un incendio, parecería que el incendio fue menor sin la intervención de la supresión. Esta situación pareció ocurrir principalmente con los incendios que seguían siendo relativamente pequeños al final del período de tiempo simulado de seis horas. También es posible que, incluso si las líneas de fuego simuladas en realidad redujesen la superficie quemada, pasaron a través de áreas de alto valor. Estas líneas de fuego pueden contribuir a tener cantidades de superficie quemada más pequeñas, pero en realidad pueden dar lugar a un aumento de las pérdidas.

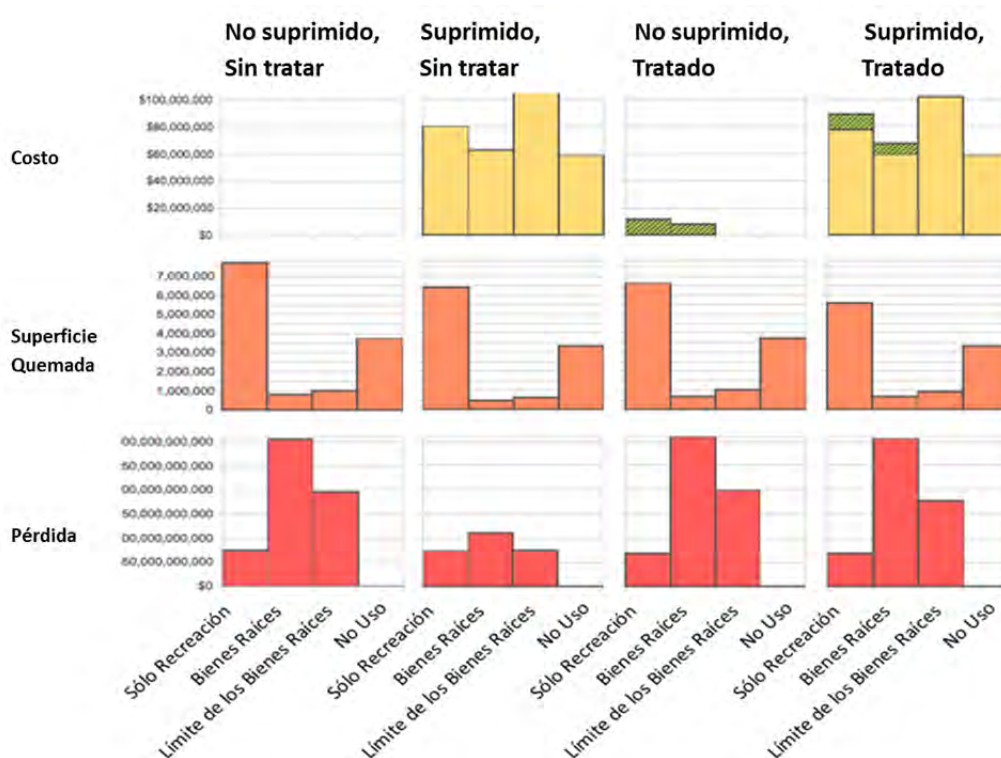


Figura 4—Gráficos de costo total de la protección, la superficie quemada, y la pérdida de cada uno de los cuatro sitios para los cuatro casos. Nótese que las columnas en el caso de Suprimido, Tratado para el Costo son simplemente la suma de las columnas de Suprimido, Sin Tratar y Suprimido, Tratado.

De los cuatro sitios, la zona de Bienes Raíces exhibió los valores más bajos de la superficie quemada, pero la pérdida más alta en cada uno de los cuatro casos. Los incendios pequeños en este sitio puede ser el resultado de las prácticas de manejo de los combustibles anteriores cuyos efectos se reflejan en el paisaje 'sin tratar' utilizado para las simulaciones de incendios. Daños potenciales por dichos incendios serían grandes, ya que estarían ocurriendo en la zona habitada más grande dentro del

distrito.

Cuadro 3—Sumas totales de los costos para protección, superficie quemada y pérdidas para los cuatro sitios.

Sitio	Costo de la Protección	Superficie quemada (Ha)	Pérdida
Sólo Recreación			
No suprimido, Sin tratar	\$0	7,701,358	\$73,950,098,015
Suprimido, Sin tratar	\$80,346,991	6,399,367	\$73,690,421,333
No suprimido, Tratado	\$11,646,751	6,646,165	\$68,161,910,849
Suprimido, Tratado	\$89,278,608	5,598,839	\$68,281,014,079
Bienes Raíces			
No suprimido, Sin tratar	\$0	823,324	\$304,332,752,013
Suprimido, Sin tratar	\$62,899,279	471,933	\$111,446,356,075
No suprimido, Tratado	\$8,197,408	664,961	\$309,458,665,154
Suprimido, Tratado	\$67,544,194	672,204	\$305,190,933,121
Límite de los Bienes Raíces			
No suprimido, Sin tratar	\$0	1,026,896	\$195,790,547,680
Suprimido, Sin tratar	\$106,832,043	599,295	\$75,269,486,390
No suprimido, Tratado	\$0	1,022,757	\$198,186,376,318
Suprimido, Tratado	\$102,309,409	919,693	\$177,385,793,990
No-Usó			
No suprimido, Sin tratar	\$0	3,747,335	\$593,915
Suprimido, Sin tratar	\$58,755,176	3,317,480	\$528,227
No suprimido, Tratado	\$0	3,747,335	\$593,915
Suprimido, Tratado	\$58,755,176	3,317,480	\$528,227

Discusión

Los resultados de la ejecución de estas casi 160,000 simulaciones de incendios mostraron que, sorprendentemente, mínima pérdida ocurre cuando se aplicó la supresión a un paisaje que no se sometió a un tratamiento. Esto no significa necesariamente que los tratamientos reales no tienen ningún efecto beneficioso. Es posible que los combustibles tratados resultantes estuviesen mal especificados, o que otros factores no fueron tomados en consideración. La supresión y los tratamientos tuvieron un efecto menor en la zona quemada de lo que esperábamos. La ubicación y los tiempos aleatorios de los incendios simulados pudieron haber producido escenarios irreales que no se contabilizaron cuando se colocaron los tratamientos. Las heurísticas de supresión pudieron haber sido insuficientes para detener por completo los incendios simulados. La salida de ejecución tendrá que ser analizada en más detalle para encontrar la fuente de los resultados inesperados.

La metodología que utilizamos es un marco para estimar el costo, la superficie quemada y los daños debido a un incendio bajo diferentes escenarios de protección. El agregar un componente de las heurísticas de supresión nos permitió incluir los efectos de extinción de incendios simulados. También hemos sido capaces de modelar los efectos de los tratamientos de los combustibles sobre el incendio.

A partir de los resultados presentados aquí es claro el potencial para mejoras en la metodología. Las ubicaciones de ignición y los tiempos de inicio aleatorios podrían haber sido seleccionados mediante una distribución más realista basada en la historia local de fuego, reduciendo así el potencial de sobre-representación de igniciones simuladas en temporadas particulares.

Implementamos una versión de FARSITE que empleó un conjunto más antiguo de modelos de combustibles utilizados en el Servicio Forestal de los Estados Unidos. El sistema que utilizamos para determinar la distribución de combustible después del tratamiento requirió el uso de un conjunto más reciente de modelos de combustible, lo que plantea dificultades cuando se trata de incorporar el paisaje de los combustibles tratados en FARSITE. Esto creó incertidumbre y posibles combinaciones incorrectas entre los dos conjuntos. Esta versión de FARSITE también permitió sólo flujos individuales de los valores de temperatura, humedad relativa, y precipitación para representar el clima en una gran región, mientras que habíamos modelado datos meteorológicos cuadrículados disponibles. Sólo los valores de viento cuadrículados se permitieron en nuestra versión. Sería ventajoso tener la capacidad de utilizar los otros campos cuadrículados de clima en lugar de los flujos individuales cuando se modelan los incendios.

El mejorar la precisión de las capas de datos que utilizamos ayudaría a producir simulaciones de incendio, costos de supresión y el tratamiento, y estimaciones de pérdidas económicas más realistas. Actualmente se está trabajando para reunir valores económicos más precisos para el distrito. Este trabajo consiste en encuestar a los usuarios del área natural para estimar los valores de no mercado de la región.

Las decisiones de supresión de incendios podrían haber sido simuladas en varias formas, pero la más sencilla fue definir un conjunto de reglas heurísticas sobre cómo deberían ser desplegados los recursos sobre la base de las condiciones existentes que coincidan con las tácticas del mundo real en el despliegue de recursos. Algunas mejoras pueden ser obtenidas mediante la corrección o la redefinición de estas reglas, o al permitir que las acciones de extinción sean alteradas durante el transcurso de cada ejecución de la simulación del incendio. Estos cambios probablemente harían que el componente de toma de decisiones de supresión de fuego simulado sea más realista.

Los resultados de esta metodología deben ser interpretados con cuidado. El comportamiento modelado visto al agregar o eliminar la supresión y/o los tratamientos de los combustibles no ha sido probado empíricamente. Además, la capa espacial de datos económicos que desarrollamos incorporó los valores de no mercado del área natural, los costos de reposición de agua, y los valores de bienes raíces. Poner demasiado énfasis en proteger, principalmente, las áreas de mayor valor puede conducir a dejar la mayoría de zonas menos valoradas en un nivel de protección

inferior. Puesto que los costos de los recursos y tratamientos eran estimaciones aproximadas, los valores monetarios calculados finales no pueden ser tan precisos como sería deseable. Tenemos la intención de mejorar la precisión de estos valores de entrada en futuros estudios.

Referencias

- Anderson, H. E.** 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. Gen. Tech. Rep. INT- 122. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 22 p.
- Broyles, George.** 2011. Fireline production rates. 1151 1805P. San Dimas, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, San Dimas Technology and Development Center. 23 p.
- Donovan, Geoffrey; Rideout, Douglas B.** 2003. An integer programming model to optimize resource allocation for wildfire containment. *Forest Science*. 49 (2) 331-335.
- 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.
- FRAP – Fire and Resource Assessment Program.** 2007. California Department of Forestry and Fire Protection. Web. 22 April 2012 <<http://frap.fire.ca.gov/>>.
- Juang, H.-M. H.** 2000. The NCEP Mesoscale spectral model: A revised version of the nonhydrostatic regional spectral model. *Mon. Wea. Rev.* 128: 2329-2362.
- NWCG – National Wildfire Coordinating Group.** 2004a. Fireline Handbook. PMS 410-1, NFES 0065. Web. 24 April 2012. <<http://www.nwcg.gov/pms/pubs/410-1/410-1.pdf>>.
- NWCG – National Wildfire Coordinating Group.** 2004b. Interagency Air Tactical Group Supervisor's Guide. NFES 1393. Web. 26 April 2012. <<http://gacc.nifc.gov/eacc/library/Dispatch/aviation/ATGSguide.pdf>>.
- NWCG – National Wildfire Coordinating Group.** 2006. Incident Response Pocket Guide. PMS 461, NFES 1077.
- Region 5 – Geospatial Data.** 2005. USDA Forest Service. 31 August 2012. <<http://www.fs.usda.gov/detail/r5/landmanagement/gis?cid=STELPRDB5327833>>
- Scott, Joe H.; Burgan, Robert E.** 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 72 p.
- Trethewey, Diane.** 2007. Development of an index for quick comparison of helicopter costs and benefits. *International Journal of Wildland Fire* 16(4): 444-449.
- USDA Forest Service.** 2009. Aviation Operations and Safety Plan. Pacific Southwest Region. <http://www.fs.fed.us/r5/fire/aviation/pdf/09_av_ops_safety_plan.pdf>.
- Vaillant, Nicole M.; Ager, Alan A.; Anderson, John; Miller, Lauren.** 2012. ArcFuels User Guide: for use with ArcGIS 9.X. Internal Report. Prineville, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Western Wildland Environmental Threat Assessment Center. 247 p.
- Wiitala, Marc.** 1999. A dynamic programming approach to determining optimal forest wildfire initial attack responses. Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy:

***Memorias del Cuarto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de los
Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales***

Bottom Lines, April 5-9, 1999, San Diego, CA. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-173.
Berkeley, CA: USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station; 115-123.

Cambio Climático y su Relación con los Ecosistemas de Incendios¹

Bongani Finiza²

Resumen

Durante las últimas décadas, demasiada atención se ha prestado a la supresión de incendios y a los métodos de ingeniería contra ellos. Sin embargo, muy poca atención se le ha dado a la comprensión de las condiciones cambiantes de los mismos como consecuencia del cambio climático global. Dicho cambio ha modificado gradualmente la forma en que la cubierta vegetal responde a la ocurrencia de incendios, además de las modificaciones en el comportamiento e intensidad de los mismos. En las últimas dos décadas ha habido un incremento en la ocurrencia de incendios catastróficos, en los que bomberos han perdido la vida en cumplimiento de su deber, el medio ambiente se ha degradado y el sustento de mucha gente ha sido dañado o destruido. Además, la temporada de incendios parece haberse extendido más allá de lo normal, haciendo difícil la confirmación de su duración. De acuerdo a observaciones y reportes recientes en todo el mundo, fue revelado que en su mayoría los incendios forestales se les arreglaban para propagarse mientras que la percepción de los bomberos era que los tenían bajo control. Algunos incendios que se propagaron se dieron como consecuencia de la escasez de agua y otros recursos básicos. Es tiempo de cambiar las técnicas de combate al fuego y crear nuevas técnicas que les permitan a los directores contra incendios prevenir y tomar control de los incendios que se propagan. Esto debe llevar a una reducción de costos en la supresión, y permitir una mejor aplicación del dinero asignado para el control de incendios. Los esfuerzos para contrarrestar los resultados de los incendios forestales deberían reordenarse, ajustando el comportamiento del fuego en sincronía con los cambios climáticos para lograr un enfrentamiento más eficaz donde haya una cubierta vegetal alterada. El agua es un recurso escaso con impactos significativos en algunos países de África tales como Sudáfrica, Moroco y Kenia, existen además otros países que están sufriendo estrés hídrico a un ritmo ascendente. Estos países incluyen el Reino Unido, Camerún y Nigeria. Las temporadas secas y húmedas se están volviendo más largas, dando como consecuencia que la cobertura vegetal este comenzando a adaptarse y a cambiar. Estos cambios podrían variar de una vegetación fugaz más seca donde las plantas se adapten para sobrevivir en condiciones

¹ Una versión abreviada de este trabajo fue presentada en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, 5-11 de Noviembre de 2012, Ciudad de México, México.

² Estudiante Ciencias Forestales en la Universidad Metropolitana Nelson Mandela, Campus George en África del Sur; Email: s210095784@live.nmmu.ac.za

más secas que se están volviendo más dominantes (usualmente malezas forestales), a una cubierta vegetal más densa con una mayor carga de combustible en áreas más húmedas.

Palabras claves:

Introducción

Las ocurrencias de incendios catastróficos en todo el mundo están empezando a plantear un problema grave. El cambio climático global tiene una influencia significativa en la forma en que los incendios se están comportando, propagando y produciendo. Un Informe científico ha demostrado que el agua se convertirá en un recurso escaso (United Nations Global [UNGC] 2009). La cubierta vegetal también es afectada por el cambio climático y se cree que los bosques van a verse afectados severamente al haber un cambio en su ecosistema (Food and Agriculture Organization [FAO], 2012). El fuego juega un papel importante en la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas. El cambio climático está alterando los beneficios de los incendios mediante la alteración de las condiciones favorables, lo que resulta en un elevado número de incendios catastróficos, trayendo consigo pérdidas humanas y destrucción del medio ambiente (Fried y otros 2004). El cambio climático no sólo tiene un impacto sobre los factores ambientales, sino también un impacto significativo en la economía. Para poder cuantificar su impacto económico, se deberá calcular el impacto físico transformándolo en su valor económico (Tol, 2009). El agua como recurso básico para la extinción de incendios, está siendo también gravemente afectado, provocando que algunos países estén enfrentando su escasez y otros tantos estreses hídricos.

Cambio climático y su impacto significativo

El cambio en los patrones del clima se ha traducido en un cambio en la vegetación y tiene una influencia significativa en la forma en que los incendios forestales están ocurriendo y la destrucción que están causando. Los ecosistemas y la biodiversidad están cambiando y se están degradando hasta el grado de perder su valor. Algunas partes de Sudáfrica sufrirán un severo impacto del cambio climático al extremo de que algunas especies se extinguirán (Stefik 2006); por lo tanto el ecosistema cambiante modificara los ecosistemas de incendios en cierto grado. La distribución de la flora y la fauna es influenciada por los patrones climáticos ambientales. Algunas de estas especies sólo sobreviven en zonas ricas en biodiversidad, por lo tanto requieren algunos tipos de mantenimiento muy específico, y si hay un cambio en los patrones climáticos, esto puede conducir a su extinción

(Stefik 2006). En la siguiente figura, se ilustran las fuentes de ignición de incendios y los posibles cambios futuros (Trollope 2012).

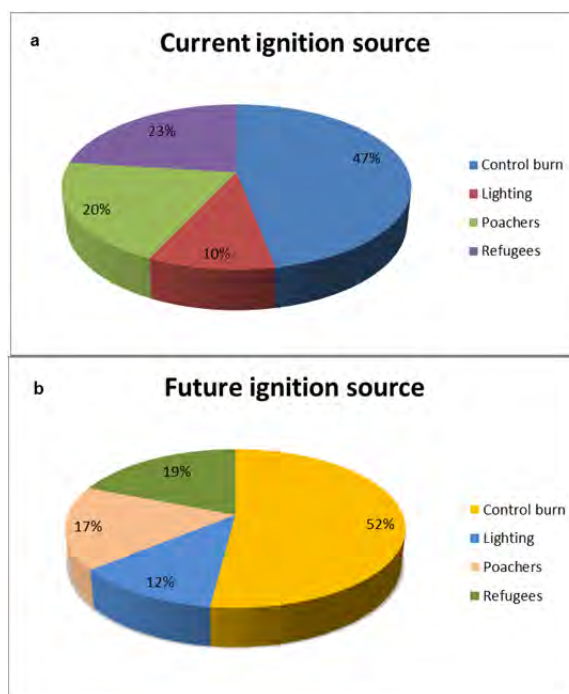


Figura 1-La evaluación de la fuente de ignición del Parque Nacional Kruger en Sudáfrica (Trollope 2012), 1a ilustra el estado actual de incendios mientras 1b ilustra un escenario futuro

Cambio de respuesta en los biomas de Sudáfrica

Los biomas de Sudáfrica están distribuidos de acuerdo a los patrones climáticos y a las variaciones del clima. Estos biomas no sólo se distribuyen en forma de caracterización climática, sino que también, las propiedades del suelo desempeñan un papel significativo. Las condiciones favorables para la ocurrencia y propagación de incendios están determinadas por el clima y el estado de la vegetación (Thonicke 2010). Demasiada frecuencia e intensidad en los incendios da como resultado intervalos cortos de su retorno, los cuales, podrían causar un daño grave al progreso ecológico del bioma. Se pronostica que los biomas del Sur de África cambien y sean compactados en la región oriental del país, y se espera que la parte occidental tenga un aumento en la acidez y haya una inserción de un nuevo bioma que abarque hasta ciertas partes del norte (Stefik 2006). La figura 2 ilustra los ecosistemas de incendio actuales en Sudáfrica y su correspondiente cambio previsto.

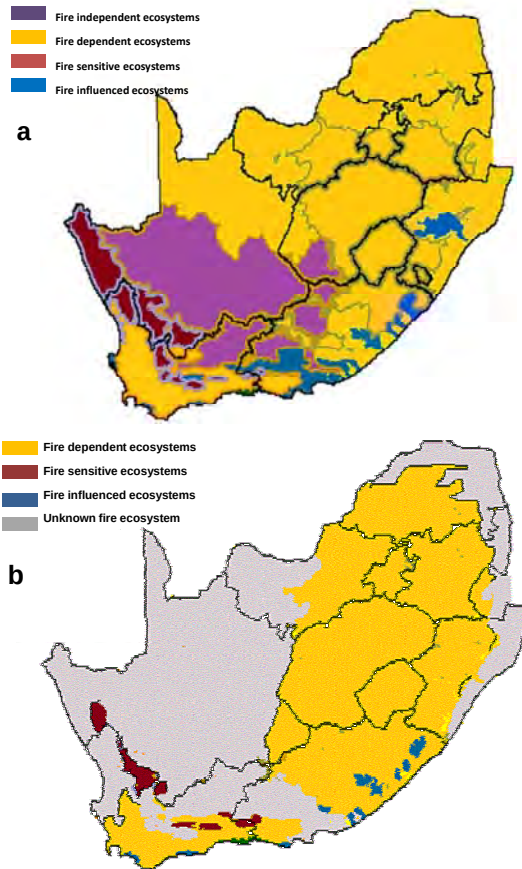


Figura 2-Los ecosistemas de fuego actuales en el sur de África y los cambios previstos en el futuro debido al cambio climático (Turpie 2003), 1a muestra la distribución actual de los ecosistemas al fuego y 1b muestra cambios futuros como consecuencia del cambio climático

Pastizales

Los incendios son necesarios en el bioma de pastizales de Sudáfrica para mantener su biodiversidad y funcionalidad ecológica. El sistema de manejo del fuego es reconocido dentro de Sudáfrica, con el propósito de preservar tanto la vida salvaje, como las especies domésticas. (Trollope 2011). La palatabilidad de la hierba requiere de la incidencia y de la generación de incendios, éstos son percibidos como una herramienta primordial para el desarrollo de los pastizales y la sustentabilidad en la demanda de ganado y fauna silvestre (Trollope2012). Los pastizales están situados en las áreas de precipitaciones estivales. El cambio climático tiene la posibilidad de alterar los patrones de lluvia y eso puede lleva a una menor productividad en estas áreas y puede afectar significativamente la composición botánica, el estado ecológico y la cobertura basal. Los tipos de clases que serán afectados son (Trollope 2012):

- **Especies en reducción:** pastos y especies herbáceas las cuales disminuyen cuando la zona está bajo o sobrepastoreo.
- **Especies en aumento I:** pastos y especies herbáceas las cuales aumentan cuando la zona está bajo pastoreo.
- **Especies en aumento II:** pastos y especies herbáceas las cuales aumentan cuando la zona está sobre pastoreo.

Savannah

Se cree que el bioma de la sabana es afectado por el cambio climático en las zonas alrededor del cinturón ecuatorial y el bioma de bosque está siendo reemplazado por la sabana (Favier y otros 2003). El comportamiento de la vegetación no está totalmente impulsado por el cambio climático, sino también, por las actividades de quema de los humanos. La expansión de los bosques naturales a ecosistema de sabana está determinada por el uso del fuego, ya sea por la frecuencia excesiva o por elevada intensidad (Favier y otros 2003).

Bosque

Se considera que las zonas actuales que contienen bioma boscoso se verán reducidas, en consecuencia, algunas de las especies comerciales no se adaptarán a semejantes cambios meteorológicos. La supervivencia y el crecimiento de estas especies están influenciados por las condiciones climáticas, algunas de estas especies son más adaptables que otras y eso podría dar lugar a su extinción (FAO 2012) Se dice que el comportamiento y respuesta forestal al cambio climático tendrá un impacto a nivel de especies y no a nivel forestal. El cambio en el ecosistema forestal está totalmente influenciado por la capacidad de adaptación de las especies a los cambios ambientales. Además, se ha percibido que la mayoría de estas especies tienen una tendencia a pasar de mayores altitudes a mayores latitudes (FAO 2012). El cambio climático no sólo afecta a las especies de árboles forestales, sino que también tiene un impacto sobre las plantas no madereras del bosque y sobre los animales. El hábitat forestal se altera y se convierte en no favorable para la supervivencia de otras especies, especialmente aquellas que no tan fácilmente, o que en lo absoluto se adaptan a los cambios.

Fynbos

El bioma de fynbos es una vegetación de Sudáfrica dependiente de los incendios para mantener su ecosistema y biodiversidad. La ocurrencia de incendios o su inducción

estimula la germinación de semillas y/o liberación de la piña (de Ronde 2012); recientemente en el sur de África se ha generado un serie de incendios más graves en áreas de fynbos, los cuales cobran vidas y daños a la propiedad. La rotación óptima de incendios en fynbos se ha fijado en aproximadamente entre 12 y 20 años, y en zonas más secas oscila entre los 20 y 30 años. La intervención humana ha dado como resultado un disminución en esta rotación de entre 6 y 8 años (de Ronde 2012).

Karoo

Se cree que el bioma Karoo succulento sufrirá el mismo debilitamiento que el bioma forestal en término de impacto y de pérdida de especies-la degradación de la biodiversidad (Hoffman y otros 2009). Algunas de las especies son susceptibles a la sequía (Hoffman y otros 2009), lo cual significa que a medida que se secan y mueren los Karoo carnosos podrían convertirse en vegetación adaptable a los incendios.

Eficacia de los métodos de supresión

Los métodos actuales de supresión de incendios se están volviendo ineficaces debido a la insuficiente información acerca de la respuesta al cambio de la cubierta vegetal. La respuesta de la vegetación al cambio climático también influye en la forma en que responderá al incendio de tal manera que facilitará el efecto de propagación, contribuirá y dificultará las técnicas de supresión de incendios (Midgley y otros 2002). Una serie de retos ha surgido en la extinción de incendios y los bomberos han perdido la vida en cumplimiento de su deber. Las mayoría de los incendios han logrado propagarse y causar graves daños al medio ambiente debido a los cambios imprevistos en la cobertura basal.

Cambio en la calidad y cantidad del agua

El número de incendios que se propagan ha comenzado a aumentar en los últimos años y se dice que la propagación en su mayoría, ha sido debido a la escasez de agua. El cambio climático afectará el agua de las siguientes maneras y ocasionará dificultades para un control apropiado de los incendios (UNGC, 2009); la escasez de agua aumentará, disminuirá la capacidad natural de almacenamiento de agua a causa del derretimiento de los glaciares y la capa de nieve, afectará la infraestructura para la capacidad de suministro de agua, las precipitaciones y las inundaciones se incrementarán a niveles extremos, la superficie y las aguas subterráneas se contaminarán debido al aumento del nivel del mar.

Ecosistema alterado

Los ecosistemas son alterados al volverse más susceptibles a los incendios, y la tasa de mortalidad se acelera. La forma en la que la vegetación responde al fuego ha comenzado a cambiar, ya sea en temporada de incendios más largas o en incendios catastróficos (de Ronde 2012). El impacto influirá en un cambio en la fisiología, la productividad, el crecimiento, la distribución, y la abundancia de especies es también alterada debido al cambio de los patrones climáticos (Midgley y otros 2002). La siguiente figura ilustra los ecosistemas de incendio (GFI 2004), en todo el mundo y debido al impacto del cambio climático, están obligados a cambiar en la medida en que la cubierta vegetal natural cambie en la mayor parte del mundo (FAO 2012).

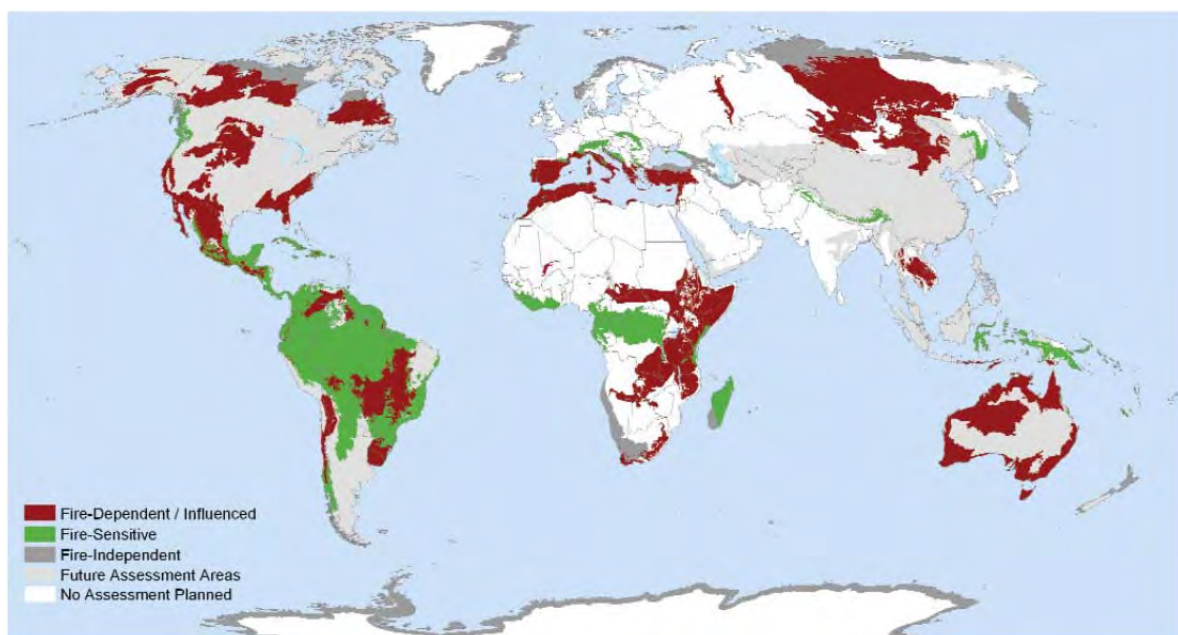


Figura 3— Clasificación de ecosistemas de incendio del mundo (GFI 2004)

Influencia en los regímenes de incendios

En la última década, los incendios solían ocurrir en los ecosistemas dependientes e influenciados por estos, y por lo tanto, jugaban un papel vital en el mantenimiento de dichos ecosistemas (GFI 2004). La ocurrencia e inducción de incendios son benéficas para la biodiversidad, y por consiguiente, se dice que pueden ser destructivos para las plantas y los animales que no son adaptables. Los seres humanos se han convertido en una fuente de ignición- más que la ocurrencia natural de incendios- y tal acción tiene una importante contribución al impacto negativo del cambio climático (GFI 2004). Los regímenes de incendios comenzaron a cambiar, de

la temporada natural de ocurrencia de incendios a cualquiera de estos dos, ocurren antes y / o se extienden más allá de la temporada normal. El cambio en los regímenes de incendios puede ser vistos como los patrones de ocurrencia de incendios actuales en comparación con los patrones naturales (GFI 2004).

Adecuación y mejora de los métodos de supresión

Los controladores de incendios no sólo son necesarios para comprender el efecto del cambio climático en los incendios, sino para ajustar las actividades de sus bomberos para sincronizarse con el cambio en las condiciones ambientales. La estrategia adecuada es tener un entendimiento de que tanto cambio o alteración ha ocurrido en el medio ambiente y cuáles podrían ser las técnicas adecuadas de seguridad y los métodos para actuar con eficacia en el problema en cuestión. El ajuste de los métodos de supresión y la adaptación no son responsabilidad exclusiva de una empresa u organización individual, los métodos de adaptación apropiados tienen que ser desarrollados desde un nivel nacional hacia un nivel regional (Lebel y otros 2012). El desarrollo de estrategias de aislamiento por un sector determinado, quizá no vaya de acuerdo con otras estrategias que se han desarrollado para adaptarse, y eso podría afectar la aceleración de un impacto grave en el medio ambiente y el incremento de incendios catastróficos. La adaptación al cambio climático no necesariamente significa que uno tiene que usar incendios más a menudo o en absoluto, sino un ajuste a la metodología de aplicación.

La manipulación de los patrones en incendios

Los incendios están causando un daño grave al medio ambiente y los bosques comerciales. Es hora de que los controladores de incendios creen o mejoren las estrategias y tácticas de lucha contra incendios para el control de los mismos y de esta manera poder restringir los incendios a las áreas que se supone que se incendian y así proteger las plantaciones. de Ronde (2012), ha sugerido que, para evitar los daños debidos a incendios dentro de las plantaciones forestales, el controlador de incendios tendrá que darse a la tarea de establecer quemas dentro de la sección establecida. El método ya se ha practicado en una zona con elevado número de incendios y el problema con este es que tiene un impacto negativo en las propiedades forestales (de Ronde 2012), el impacto significativo sobre las propiedades forestales esta aun por emprenderse. Pool (2011), también recomienda la práctica del acolchado como una forma de manejo de carga de combustible, y de acuerdo con sus descubrimientos, el acolchado tiene una influencia significativa en el comportamiento, la intensidad y la velocidad de propagación del incendio

(guardabosques Sudafricano , en comunicación personal) argumenta que el método en algunas áreas pueden presentar una serie de problemas, debido al hecho de que da lugar a dificultades para combatir los incendios que están estancados en el suelo como resultado de gases comprimidos inflamables.

Entendiendo la vegetación adyacente

Cuando llega el manejo incendios, en la mayoría de los casos, los controladores de incendios sólo se preocupan por prevenir que los incendios se propaguen dentro de las plantaciones y más allá hacia la vegetación vecina. La comprensión del cambio en la respuesta del medio ambiente también requiere el estudio de los ecosistemas adyacentes y la creación de estrategias de su manejo. La importancia de tener la vegetación adyacente en mente es para evitar la repetición de los graves daños que Sudáfrica ha sufrido entre los años 2007 y 2008, la pérdida de 25.000 hectáreas en un solo día debido a las condiciones climáticas extremas (de Ronde 2012). La mayoría de los incendios forestales comienzan en la vegetación adyacente hacia el interior de las plantaciones comerciales, y estas áreas son en su mayoría propiedad de las comunidades. La fuente de ignición es equivalente a la de Parque Nacional Kruger.

Integración de operaciones

El efecto del cambio climático no sólo afecta a los métodos de extinción de incendios, este afecta a una serie de operaciones y por lo tanto es muy importante tener una planificación convencional de adaptación con el fin de integrar la operación y también para mantener la interconexión entre las operaciones y el medio ambiente (Lebel et al . 2012). La operación de integración debe adoptarse a nivel nacional con el fin de tener formalidad y para tener sistemas de operaciones que están relacionadas entre sí.

Remuneraciones fundamentales sobre la dinámica económica

Las empresas forestales están gastando mucho dinero básicamente en la extinción de incendios y los costos son relativamente cada vez mayores debido a la influencia del cambio climático en la vegetación. No es una sabia decisión invertir más y / o menos recursos en ingeniería de incendios, pensando que va a prevenir y proteger a los bosques de la destrucción. Con la comprensión de un valor ecológico del bioma, se dará lugar a la adopción de medidas de precaución necesarias y la aplicación de recursos adecuados (Turpie 2003). Para aumentar la rentabilidad de las inversiones,

es de beneficio practicar el manejo integrado para ambos, la conservación comercial y ambiental.

Conclusión

La evaluación del impacto del cambio climático sobre la respuesta de la vegetación al fuego en esta etapa es difícil de cuantificar. El manejo del fuego ha sido un reto a escala mundial, el cambio en la respuesta de la vegetación y la adaptación al cambio climático ha hecho que el control sea más difícil. En Sudáfrica, las prácticas prescritas de incendios se están volviendo peligrosas debido al elevado número de incendios propagados durante la operación. La diversidad de los patrones climáticos también está haciendo difícil diseñar/crear una estrategia que sea aplicable a nivel nacional. En lo que respecta al manejo de los incendios, es muy importante tomar todos los factores de afectación en consideración con el fin de seleccionar un método apropiado que sea efectivo para poner los incendios bajo control.

Referencias

- de Ronde C. 2012.** White Paper on Vegetation Fires and Global Change. Current fire regimes, impacts and the likely changes - IX: Sub-Sahara Africa. Functional Role of Fire in *Fynbos* and Industrial timber plantations. 91-93p.
- Favier C, Chave J, Fabing A, Schwartz D and Dubois M.A. 2003.** Modelling forest-savanna mosaic dynamics in man-influenced environments: effects of fire, climate and soil heterogeneity. *Ecological Modelling* 171 (2004) 85-102
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2012.** Forest Management and Climate Change: A Literature Review. Forests and Climate Change Working Paper 10:
- Fried J.S., Torn M.S. and Mills E. 2004.** The Impact of Climate Change on wildfire Severity: A Regional Forecast for Northern California:
- Global Fire Initiative (GFI). 2004.** Fire, Ecosystems and People: A Preliminary Assessment of Fire as a Global Conservation Issue. Ecosystems and People Living in a World of Fire
- Hoffman M.T., Carrick P.J., Gillson L. and West A.G. 2009.** Drought, climate change and vegetation response in the succulent karoo, South Africa. *South African Journal of Science* 105, January/February 2009
- Lebel L, Li L, Krittasudthacheewa C, Juntopas M, Vijitpan T, Uchiyama T, and Krawanchid D. 2012.** Mainstreaming climate change adaptation into development planning. Bangkok: Adaptation Knowledge Platform and Stockholm Environment Institute. 32 pp.
- Midgley G.F., Hannah L., Millar D., Rutherford M.C. and Powrie L.W. 2002.** Assessing the vulnerability of species richness to anthropogenic climate change in a biodiversity hotspot. Climate change and conservation special issue. *Global Ecology & Biogeography* (2002) 11, 445-451
- Stefik J. 2006.** The Effect of Global Warming on South African Ecosystem's. The Department of Meteorology, College of Earth and Mineral Sciences, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802
- Pool C.F. 2011.** The Benefits of Mulching. SA Forestry Magazine. The Seventh Fire Management Symposium held in Pietermaritzburg.
- Tol R.S.J., 2009.** The Economic Effects of Climate Change. *Journal of Economic Perspectives*—Volume 23, Number 2—Spring 2009—Pages 29-51

- Thonicke K., Spessa A., Prentice I.C., Harrison S.P., Dong L. and Carmona-Moreno C. 2010.** The influence of vegetation, fire spread and fire behaviour on biomass burning and trace gas emissions: results from a process-based model. *Biogeosciences Discuss.*, 7, 697–743
- Trollope W.S.W. 2012.** White Paper on Vegetation Fires and Global Change. Current fire regimes, impacts and the likely changes - IX: Sub Sahara Africa. *Functional Role of Fire in Sub Saharan Savanna and Grassland Ecosystems*. 83-89p.
- Turpie J.K. 2003.** The existence value of biodiversity in South Africa: how interest, experience, knowledge, income and perceived level of threat influence local willingness to pay. *Ecological Economics* 46 (2003) 199-216
- United Nations Global Compact (UNGC). 2009.** Climate Change and the Global Water Crisis: What Businesses Need to Know and Do: 01-09 p

Gestión de Uso Recreativo y los Incendios Forestales en el Sur de California: El Uso de SIG y Modelos de Simulación Visual de Paisaje Para Evaluación Económica¹

Daniel Moya², Armando González-Cabán³, José J. Sánchez³, y José De las Heras²

Resumen

Avances recientes en el comportamiento de los incendios están conformando estrategias para el manejo forestal en bosques no industriales privados y públicos en el oeste de Estados Unidos. La estrategia desarrollada debe incluir la identificación del medio costo-beneficio mas rentables para la asignación de recursos para el presupuesto de gestión de incendios. En las áreas recreativas, la opinión de los visitantes debe ser incluida en la decisión para la planificación de los bosques, es aquí donde las encuestas han sido herramientas útiles para obtener este tipo de información. Sin embargo, es difícil evaluar el incendio antes de su aparición, sobre todo en las zonas donde el régimen de incendios esta cambiando debido al cambio climático. Estamos fusionando las aplicaciones desarrolladas para el sistema de información geográfica (SIG) y los modelos visuales de simulación del paisaje para obtener información visual acerca de los escenarios previstos, la cual incluye diferentes programas de manejo forestal, predicciones del cambio climático y el riesgo futuro de incendios en áreas silvestres. En nuestro estudio, estamos incluyendo la aparición de ambos, escenarios boscosos y los rodales individuales, después de actividad de manejo forestal y los incendios forestales en el corto, mediano y largo plazo. Tratamos de determinar cómo los valores recreacionales están relacionados con la preservación (o no) de diferentes partes del paisaje y como este se desarrolla después de incendios forestales y del paso del tiempo. La aceptación de los visitantes para invertir en programas anti-incendio se mide a través de encuestas en línea dirigidas a recreacionistas en el complejo silvestre de San Jacinto en el bosque nacional San Bernardino en el sur de California. La visualización computarizada basada en información del SIG, construida en base a inventarios forestales, es una herramienta útil para medir las preferencias del visitante y tomar esto en consideración en la planeación del manejo de la tierra incluyendo supuestas acciones o disturbios basados en el modelado del paisaje. Esta

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, 5-11 de noviembre de 2012, Ciudad de México, México.

² Profesor Asociado, Universidad de Castilla-La Mancha, España; Email:

³ Economista Investigador y Economista respectivamente, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Riverside, California, USA; Email: agonzalezcaban@fs.fed.us y jsanchez@fs.fed.us.

puede ser utilizada directamente por los administradores forestales e inversionistas como una herramienta para apoyar sus decisiones de demostrar y evaluar intercambios de persecución de estrategias alternativas en la administración de incendios con la finalidad de promover un programa futuro del manejo de incendios más sostenible y su apropiado papel en el manejo público de la tierra.

Palabras clave: zonas propensas a incendios, manejo forestal, valoración no de mercado

Introducción

La evaluación de riesgos de incendios forestales y las actividades de manejo de combustibles se han convertido en una actividad importante porque un incremento en el área quemada se relaciona con el cambio climático global, principalmente en la zona del Mediterráneo (Flannigan y *otros*, 2000). El Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA FS) en el oeste de EEUU promueve herramientas para reducir las crecientes pérdidas financieras y ecológicas de los incendios forestales catastróficos (CALKIN y *otros*, 2011). Las actividades del tratamiento de combustibles incluyen una amplia gama de operaciones en el manejo forestal, tales como adelgazamiento, tratamientos mecánicos (ejemplo, masticación), o incendios prescritos para reducir el combustible y romper continuidad (horizontal y vertical), teniendo como objetivo reducir la frecuencia de los grandes incendios forestales (Finney y *otros*, 2006). Sin embargo, incluyendo el manejo de combustibles en la planificación forestal es compleja y requiere probar aplicaciones con software de modelos de comportamiento de incendios en tanto un contexto de la investigación como operacional (Calkin y *otros*, 2011).

Los científicos están modelando muchos aspectos de los complejos ecosistemas naturales simultáneamente y vinculando los a modelos de comportamiento del fuego utilizando como factores de entrada las condiciones climáticas (Flannigan y *otros*, 2000). En la práctica, los modelos de simulación examinar la posible eficacia y los impactos ecológicos del programa de tratamiento de combustibles en un escenario estático, como ArcFuels que es una interfaz de ArcSIG para la planificación del tratamiento de los combustibles y la evaluación de riesgo de incendios forestales (Ager y *otros*, 2011). Incluye extensiones a varios modelos, como el Simulador de Vegetación Forestal (SVF), FARSITE, BehavePlus y el Sistema de Visualización de Masas (SVM). El SVM contribuye con una salida visual, que genera gráficos que representan las condiciones de la masa, que representa la información obtenida para el polígono homogéneo de conjunto de datos.

Las expectativas públicas de la administración de las tierras federales han expandido en los últimos años. Aplicación operativa se refiere a un análisis cuantitativo de los valores sociales y ecológicos, y el diseño de proyectos de tratamiento de combustibles en términos de dónde, cuánto y cómo tratar los combustibles de la superficie y del dosel para cumplir con los objetivos de manejo de los incendios forestales (Zimmerman y *otros*, 2006). Los administradores forestales deberán incluir la aceptación pública de sus estrategias de manejo, incluyendo el aspecto del paisaje a través del tiempo. Los métodos tradicionales no siempre han facilitado información suficiente para comprender lo que sucedió, sobre todo a los no especialistas, como algunas partes interesadas, los políticos o el público en general (González-Cabán y *otros*, 2011).

El objetivo de nuestro estudio era mejorar la comunicación pública. Para lograrlo, vinculamos la interfaz de Arcfuels, salidas SVM y un modelo de simulación visual (Envision, McGaughey 1997) para obtener simulaciones visuales para los escenarios previstos. Se aplicó el sistema a un área natural incluida en el Bosque Nacional de San Bernardino para obtener una simulación visual diferente, incluyendo el manejo forestal, la severidad de un hipotético incendio en las condiciones actuales y la regeneración natural en diferentes escenarios para el corto, mediano y largo plazo.

Métodos

Se seleccionó un área recreativa en el espacio natural protegido de San Jacinto, Distrito Forestal de San Jacinto, Bosque Nacional de San Bernardino y también parte del parque estatal San Jacinto en el sur de California. El área natural cubre cerca de 32,248 acres (13,055 hectáreas), el rango altitudinal oscila entre 6,000 y 10,000 pies (1,800-3,050 m) sobre el nivel del mar, y los hábitats climáticos van desde el desierto hasta las zonas alpinas. De los 16 senderos que cruzan el área recreativa se seleccionaron cuatro de los más utilizados para nuestro trabajo: Deer Springs, Devil's Slide, South Ridge and Pacific Crest Trail.

El área natural y el entorno contienen varios lugares recreativos, campamentos, aldeas y viviendas (área de interface urbano-rural alto) y son atravesados por rutas de senderismo por lo que la utilidad social y recreacional es muy importante. La historia de incendios en la zona indica que en el siglo pasado, varios incendios forestales quemaron en zonas de menor altitud que rodean el área natural; sin embargo, durante los últimos 100 años, no se ha evidenciado fuego (Figura 1). En la zona, el tiempo transcurrido desde el último incendio ha superado el período de recurrencia de incendios debido a que las políticas de exclusión del fuego, condiciones especiales climáticas y ecosistemas diferentes (Wohlgemuth y *otros*,

2009). Además, la carga de combustibles en el área natural es muy alta (Figura 1). Por lo tanto, el riesgo y el peligro de incendios forestales en la zona son altos.

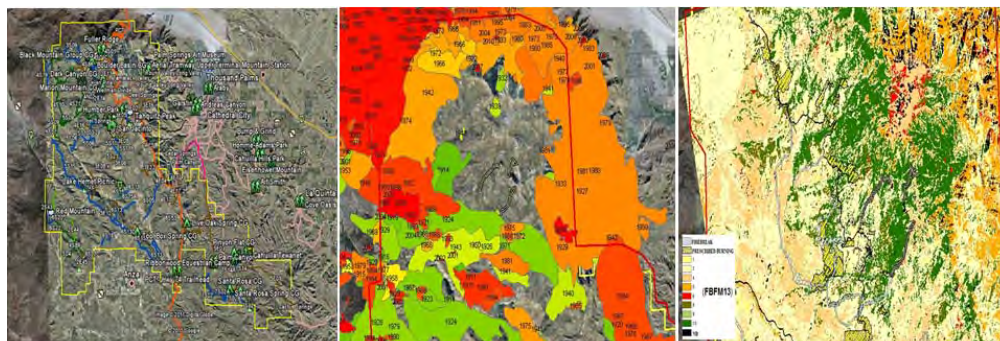


Figura 1 – Área natural de San Jacinto, situado en el San Jacinto Ranger District en San Bernardino National Forest, en el sur de California: la alta presión antrópica (izquierda), la historia del fuego (centro) y la carga de combustibles (derecha).

De acuerdo con el sistema de la relación fauna-hábitat de California (2008), las comunidades bióticas predominantes en el área de estudio son Sierra Mixto de Coníferas (SMC): Douglas Fir (abeto Douglas), el Pino Ponderosa, Abeto Blanco, Montane Chaparral (MCP): Especies de Ceanothus, Especies de Manzanita, Bitter Cherry, Coníferos Subalpinos (CNS): Pícea de Engelmann, Abeto Subalpino, Mountain Hemlock (*Tsuga mertensiana*), Montane Hardwood-Conifer (MHC): Pino Ponderosa, Cedro Blanco y Encino Negro de California.

Hicimos una excursión por los senderos, digitalizando las rutas utilizando un DeLorme PN-40 GPS⁴ y convirtiendo a dar forma con software Topo EE.UU. Se registraron varias imágenes de la cuenca visual (*viewshed*) desde diferentes puntos y se obtuvieron varias imágenes detalladas en tres lugares relevantes: el comienzo del sendero, pista a mitad de camino, y al final del camino (punto más alto).

Para incluir el manejo de los combustibles y la planificación forestal en el estudio se desarrolló una técnica de análisis de cuencas visuales para vincular la asignación espacial, el desarrollo natural del ecosistema, y la incidencia de los incendios forestales en función de los tratamientos silvícolas evitando grandes y severos incendios forestales y el estado visual ya que el tiempo pasa. Para los cuatro senderos seleccionados se obtuvo la cuenca visual para las condiciones actuales. Después de eso, se supone que un incendio forestal que iba a quemar el área natural, pero la incidencia fue dependiente de tratamientos del manejo de combustibles. Tres escenarios diferentes fueron examinados: sin tratamiento (fuego de alta severidad), pesados tratamientos silviculturales (fuego de baja severidad) y un sistema de gestión medio (fuego de media severidad). Además, se incluyó el tiempo transcurrido desde el incendio: se quema en el corto plazo (0-5 años), se quema en el mediano plazo (5-

15 años) y se quema en el largo plazo (más de 15 años). Obtuvimos el MED (Modelo de Elevación Digital), una forma que contiene la carga de los combustibles en la zona, información general de Parques Nacionales y la información del manejo forestal y de la vegetación (USDA Forest Service Region 5 de 2011).

Usando la interfaz de Arcfuels para ArcMaps v.9.1 (Ager y otros, 2011), se creó una forma de la capa de la masa (*stand layer shape*) que contenga información actualizada tanto de factores abióticos (aspecto, pendiente, altitud, etc.) y bióticos (tipo de bosque, cobertura desde arriba (CDA), tamaño y densidad de los árboles, la relación del hábitat de la vida silvestre (RHVS), etc.). En la siguiente etapa, hemos simulado las tres clases seleccionadas del fuego (baja, media y alta severidad) para el verano de 2011 y la regeneración natural de los tres intervalos de tiempo (corto, mediano y largo plazo). Las salidas se registraron en un formato SVM. Los archivos de la SVM para cada escenario se copiaron y se cargaron en Envision para crear un proyecto diferente para diez escenarios posibles (control y tres niveles de severidad de los incendios en tres intervalos diferentes), replicados para cada ubicación de los cuatro senderos. Para cada punto, se ajustaron y enfocaron los parámetros de luz y el fondo para el momento en que fue fotografiada la cuenca visual en el sendero. Utilizando el modelo de elevación digital y las coordenadas registradas, hemos creado un punto de vista para obtener la misma perspectiva que en la fotografía. La vegetación fue recreada por medio de un cuadro de SVM y la rejilla de la superficie fue creada para recrear la superficie del suelo de acuerdo con el escenario simulado. Un fondo fue construido con la imagen real, separando la simulación visual bajo del horizonte e insertando una imagen del cielo (de las condiciones reales) por encima del horizonte. Las opciones de renderizado fueron optimizados para obtener el resultado visual más similar a la imagen grabada.

Resultados

En esta primera fase de la investigación se obtuvieron varias imágenes visuales para ser utilizados en estudios de evaluación de la valoración de recursos no de mercado. La realización de las encuestas en el área natural de San Jacinto nos permitirá replicar la experiencia en otras regiones Mediterráneas, como el sureste de España. Una vez que los datos de la encuesta son recogidos, proporcionará información para determinar los valores de recreación, incluyendo la planificación forestal y el manejo de los combustibles bajo escenarios hipotéticos de incendio (Tabla1). También permitirá vincular el manejo, la regeneración forestal y la recuperación de los valores recreativos.

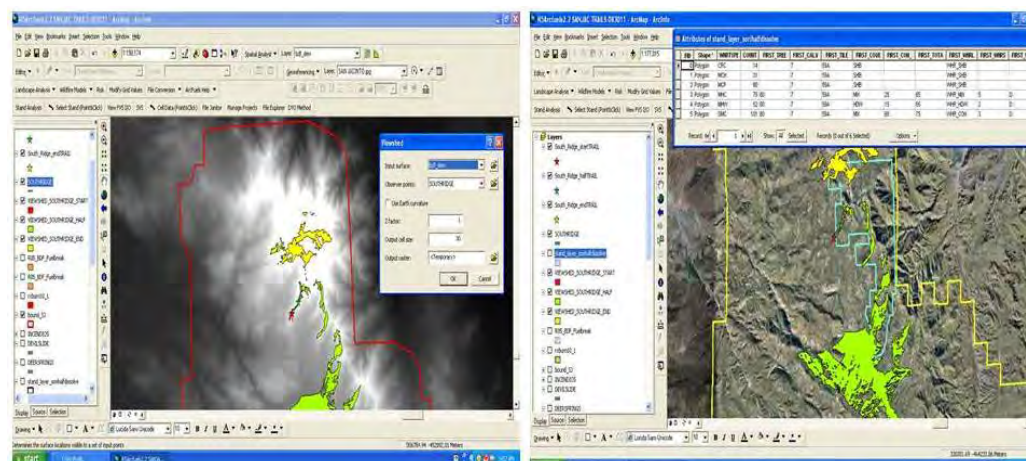


Figura 2-ArcFuels: interfaz de ArcGIS para la planificación del tratamiento de combustibles y la evaluación de riesgo de incendios forestales; la creación de información básica para la capa de área de estudio en el área natural de San Jacinto, San Bernardino National Forest, en el sur de California.

Los escenarios de incendio desarrollados colocará a los recreacionistas en un sendero particular, en un punto característico y la cuenca visual cambiaría dependiendo de la severidad del incendio y el tiempo desde el fuego. Basado en nuestro diseño experimental, se obtuvieron 108 imágenes (Figura 3). La superficie de una cuenca visual que es visible a un recreacionista depende de en qué parte del sendero este; la elevación más alta produce la mayor área de cuenca visual. Cuatro pérdidas de la cubierta de árboles (en relación con la severidad del fuego) se evaluaron: menos del 25%, 25-50%, 50-75% y el 75% -100% en CDA (relacionado con la severidad de bajo, medio y alto). Las salidas de visualización le ayudarán a entender a los encuestados hipotéticos escenarios de incendio, así como los paisajes preservados utilizando recursos procedentes de las cuotas de uso de áreas naturales invertidos en los esfuerzos de conservación.

Discusión

El manejo forestal sostenible debe satisfacer los objetivos del nivel de las masas y mantener o mejorar la calidad estética y biológica de un paisaje. Englin y otros (2001) encontraron que hay un aumento en las visitas durante los incendios recientes, pero luego disminuye durante varios años. Las herramientas de visualización proporcionan retroalimentación para diseñar un tratamiento de las masas, ayudando en la comunicación y la comprensión de los efectos futuros y posibles escenarios en un contexto de paisaje.





Figura 3— Simulaciones visuales obtenidos para el Sendero Sky Tram al pico de San Jacinto. La cuenca visual representada aquí se encuentra en el punto a mitad del sendero; tomamos una foto y recreamos la misma imagen que el control (imagen superior). Además, hemos recreado tres grados de severidad de incendios (imágenes inferiores) para un hipotético incendio forestal ocurrido durante el verano de 2011: baja (superior), medio (medio) y alto (parte inferior).

La aceptación pública de las actividades de manejo forestal suelen estar vinculadas a la aparición de paisajes boscosos y masas individuales, dependiendo de la cuenca visual. Mediante el uso de herramientas de visualización, las alternativas y las perturbaciones pueden ser simuladas dentro de un contexto de paisaje, que se mantiene constante. Las políticas de exclusión de fuego aumentan los combustibles, lo que resulta en incendios de alta intensidad y a veces incendios grandes y catastróficos. La visualización puede ser usada para comunicar el elevado riesgo de incendio y mostrar opciones para reducir la cantidad de combustibles presentes, para disminuir el impacto de la perturbación. Dependiendo de la precisión del conjunto de datos, las imágenes de salida pueden representar escenas de bosques que aparecen realistas. Sin embargo, los espectadores deben ser capaces de distinguir las imágenes renderizadas de las fotografías, y los presentadores deben determinar cuidadosamente el nivel adecuado de realismo para cada aplicación, evitando así el riesgo de pérdida de credibilidad. Podría ayudar a la identificación de las más rentables formas de asignación de presupuestos de manejo del fuego, la aplicación de la respuesta del manejo más adecuada a los incendios forestales, incluyendo escenarios alternativos basadas en la ciencia.

Tabla 1—Encuesta básica que se celebrará. La cabecera describirá cómo en una zona propensa al fuego, los recursos pueden ser utilizados para la prevención de incendios. El encuestado se podría presentar como opciones al azar múltiples condiciones posibles que enfrentan en escenarios futuros en función de las inversiones en prevención de incendios.

Cuenca visual destruida	25-50%	50-75%	75-100%
Ubicación	Inicio del sendero (elevación más baja)	Mitad del sendero (elevación media)	Fin del sendero (elevación mas alta)
Tiempo transcurrido desde el incendio	Corto plazo 0-5 años	Mediano plazo 5-15 años	Largo plazo >15 años
Cuota de entrada al área natural	\$25	\$20	\$15
ELECCIÓN DEL ENCUESTADO			

Resumen

Este estudio informó la oportunidad dada por el modelo de simulación de paisaje para mejorar el **manejo forestal y la evaluación económica de los bosques, principalmente en los escenarios simulados**. Simulaciones de los paisajes basadas en computadora se han convertido en una herramienta reconocida para previsualizar los efectos visuales de las decisiones de uso del suelo si se basan en modelos y predicciones fiables.

Agradecimientos

Agradecemos al Ministerio español de Educación y Ciencia, por su apoyo al proporcionar la beca de movilidad José Castillejo (JC2010-0224). Agradecemos también al personal del San Jacinto Ranger District, San Bernardino National Forest, por su ayuda. Un agradecimiento especial a Robert J. McGaughey (USDA FS Pacific Northwest Research Station) y Kenneth A. Wright (USDA Forest Service, Region 5).

Referencias

- Ager, A.A.; Vaillant, N.M.; Finney, M.A.** 2011. Integrating Fire Behavior Models and Geospatial Analysis for Wildland Fire Risk Assessment and Fuel Management Planning. *Journal of Combustion* 2011, Article ID 572452, 19 p.
- California Wildlife Habitat Relationships.** 2008. <http://www.dfg.ca.gov/biogeodata/cwhr>. Accessed 30 May 2011
- Calkin, D.E.; Thompson, M.P.** 2010. Barriers to Implementation of Risk Management for Federal Wildland Fire Management Agencies in the United States. In Viegas, D.X. (Ed.) *Proceedings of VI International Conference on Forest Fire Research*. Coimbra, Portugal.
- Costanza, R.; Voinov, A.** 2004. Landscape Simulation Modeling: A Spatially Explicit, Dynamic Approach. *Series: Modeling Dynamic Systems XIII*, 330 p.
- Finney, M.A.** 2005. The challenge of quantitative risk analysis for Wildland fire. *Forest Ecology and Management*. 211: 97-108.
- Finney, M.A.; Seli, R.C.; McHugh, C.W.; Ager, A.A.; Bahro, B.; Agee, J.K.** 2006. Simulation of long-term landscape level fuel treatment effects on large wildfires. In: Andrews, P.L., Butler, B.W. (eds) *Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings*. 28-30 March 2006; Portland, OR. USDA Forest Service, RMRS-P-41.809 p. (Fort Collins, CO) p125-148.
- Flannigan, M.D.; Stocks, B.J.; Wotton, B.M.** 2000. Climate change and forest fires. *Science of the Total Environment* 262: 221–229.
- González-Cabán, A.; Sánchez, J.; Moya, D.** 2011. Developing tools to improve forest management in recreational and fire-prone areas in Southern California. In *Proceedings of MEDECOS XII: Linking Science to Resource Management. The International Mediterranean Ecosystems Conference*. September 6-9, 2011 – Los Angeles, California, United States.
- Baerenklau, K.A.; Gonzalez-Caban, A.; Paez, C.; Chavez, E.** 2010. Spatial allocation of forest recreation value. *Journal of Forest Economics* 16: 113–126.
- McGaughey, R.J.** 1997. Visualizing forest stand dynamics using the stand visualization system. In *Proceedings of the 1997 ACSM/ASPRS Annual Convention and Exposition*;

April 7-10, 1997; Seattle, WA. Bethesda, MD: American Society of Photogrammetry and RemoteSensing. 4:248-257.

McGaughey, R.J. 2002. Creating visual simulations of fuel conditions predicted by the fire and fuels extension to the forest vegetation simulator. In: Crookston, N. L., Havis, R. N. (compilers) Second Forest Vegetation Simulator Conference. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins CO. RMRS-P-25.208p.

Rodríguez y Silva, F.; Molina Martínez, J.R. 2007. Cartografía de modelos de combustible para la defensa contra incendios forestales. In Proceedings of the 4th International Wildland Fire Conference, Sevilla, Spain.

USDA Forest Service Region 5. 2011. USDA-Forest Service, Pacific Southwest Region, Remote Sensing Lab. Accessed 30 May 2001.
<http://www.fs.fed.us/r5/rs/clearinghouse/gis-download.shtml>.

Wohlgemuth, P.M.; Beyers, J.L.; Hubbert, K.R. 2009. Rehabilitation strategies after fire: the California, USA experience. In: Cerdá, A.; Robichaud, P.R. (eds). Fire effects on soils and restoration strategies. Enfield, NH: Science Publishers. pp. 511-536.

Zimmerman, D.E.; Akerelrea, C.; Smith, J.K.; O'Keefe, G.J. 2006. Communicating Forest Management Science and Practices through Visualized and Animated Media Approaches to Community Presentations. An Exploration and Assessment. *Science Communication* 27 (4): 514-539.

Manejo Adaptativo de Incendios Forestales en las Zonas Periurbanas en el Distrito Federal, Brasil: Un Estudio de Caso de la Comunidad Rural de Valle de Urubu¹

Gabriel Zacharias² y Renata Marson Teixeira de Andrade³

Resumen

En un escenario de cambio climático, donde el calentamiento global aumenta el periodo crítico de sequías, se prevé que incrementen los riesgos de los incendios forestales. En el Distrito Federal (DF) de Brasil, los incendios forestales en las zonas periurbanas tienen importancia económica, financiera, ambiental y sanitaria; sin embargo, este lugar ha sido poco estudiado. Por lo tanto, uno se pregunta si el Distrito Federal de Brasil está preparado para lidiar con los altos riesgos de incendios en las zonas periurbanas, y si la comunidad periurbana es capaz de adaptarse al riesgo creciente de los incendios forestales debido al cambio climático. Esta investigación presenta un estudio de caso de la Comunidad Rural de Valle de Urubu, localizada dentro de la cuenca del río Urubu, una de las comunidades rurales más grandes, con más de 200 familias, que habitan a tan solo 10 km de distancia del Distrito Federal de Brasil. Se entrevistaron a 40 familias que viven en la Comunidad Rural de Valle de Urubu, y se midió su percepción de riesgo ambiental (en especial el riesgo de incendios forestales), capacidad de adaptación y organización para enfrentarse a los incendios forestales bajo un escenario de cambio climático. Con este estudio, la comunidad percibe que los incendios forestales son de alto riesgo en muchas localidades, en especial cerca de las carreteras y los terrenos públicos y el nuevo desarrollo inmobiliario. Esta comunidad percibe a la naturaleza local de una manera muy positiva y valora sus servicios ambientales (estética, suministro de agua, clima local y biodiversidad); se tiene un gran sentido de pertenencia a la región y comprende los riesgos ambientales a los que se enfrentan debido al cambio climático. Esta percepción ha sido atribuida al conocimiento adquirido con el paso de los años, debido al activismo ambiental local: ONG ambientales locales que trabajan en colaboración con organizaciones de la sociedad civil y del Estado, tales como agencias ambientales, universidades y ONG internacionales encargadas de las adaptaciones al cambio climático, lo que lleva a la creación de una amplia red social que apoya las actividades de prevención y

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales; 5-11 de noviembre de 2013, Ciudad de México, México.

² Instituto Brasileño del Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables; gabrielzacharias@yahoo.com.br,

³ Profesor en Universidade Católica de Brasília; Email: renatamar2@gmail.com.

combate de incendios forestales en el Valle Urubu. La combinación de la percepción de riesgo, la capacidad de movilización y las redes fueron los factores clave para la implementación de la primera gestión local de riesgo ante incendios forestales en un escenario de cambio climático en la Comunidad Rural en el Valle de Urubu, la primera periurbana comunidad en implementar un plan de prevención de incendios en esta región. Finalmente, para mejorar la gestión local de riesgo ante incendios forestales de la Comunidad Rural de Valle de Urubu y permitir la realización de estas normas en otras comunidades periurbanas a lo largo del DF, se utilizó la guía de gestión de riesgos ISO31000, y la experiencia del Programa Comunidades Firewise/USA. Esperamos que un mejor manejo local de riesgos ante incendios permita a los gestores ambientales en el DF de Brasilia implementar un plan local de riesgo ante incendios como parte de una adaptación al plan de cambio climático en muchas comunidades periurbanas en Brasil.

Palabras clave: comunidades Firewise, percepción del riesgo ambiental, riesgo de incendios forestales

Introducción

Cada año, el Distrito Federal (DF) de Brasil padece de incendios forestales en las zonas suburbanas. El Instituto Nacional de Investigadores Espaciales, desde el 2007 ha detectado más de 1200 focos rojos, y entre el 2010 y el 2011 esta cifra era de aproximadamente 800 focos rojos en el Distrito Federal, incluyendo Brasilia. De acuerdo con los estudios del cambio climático para la región del Cerrado, la tendencia es aumentar la incidencia de los incendios en la región con el aumento de la temperatura promedio del planeta.

Se ha elegido estudiar los incendios forestales en las zonas suburbanas, ya que no se cuenta con tal estudio en Brasil, y también porque las regiones periurbanas son el hogar de las comunidades que sufren de la falta de servicios sociales y públicos, dependiendo en gran medida de los aspectos del medio ambiente en términos de salud, suministro de electricidad y vivienda (SAO PAULO, 2004, pág. 19). En el DF, hay muchas regiones periurbanas pobladas y constante amenazadas por los incendios. Se decidió estudiar a la Comunidad Rural de Valle de Urubu, la cual se encuentra en la cuenca del río Urubu, debido a la movilización social histórica sobre el manejo participativo de los incendios forestales. Esta comunidad ha creado una red social activa, el movimiento Salvando al Valle de Urubu, con el apoyo de los residentes y ONGs locales, además de un proyecto de adaptación al cambio climático. El Proyecto Aclimar, con el apoyo del Instituto Solidaridad del banco HSBC, en colaboración con la Universidad Católica de Brasilia y las ONGs internacionales como la WWF. Esta red social ha organizado brigadas para combatir los incendios

forestales, en busca de apoyo por parte del gobierno Federal y del Distrito para implementar el Plan Local de Prevención de Incendios Forestales.

Este artículo se enfoca a un estudio de caso en una zona periférica del DF, y tiene acceso a la percepción del riesgo ambiental en una comunidad rural, el proceso de la gobernanza ambiental y la movilización social frente a los incendios forestales, como formas de manejo adaptativo al cambio climático. El Riesgo Ambiental esta expresado en este estudio por la combinación de las consecuencias de un evento y la probabilidad de su ocurrencia (Asociación Brasileña de Normas Técnicas 2011, pág. 01). Para respaldar el desarrollo de las actividades de la comunidad rural del río Urubu, el presente trabajo también presenta las recomendaciones a partir de la realidad local, la experiencia del Programa de las Comunidades Firewise y el ISO31000, que da las normas estándar para la gestión de los riesgos.

Métodos

Para estudiar cómo la población de la Comunidad Rural de Valle de Urubu organizó un plan operativo y una brigada de prevención y el combate de los incendios forestales, se utilizó una recopilación de datos bibliográficos, estudios pre-existentes y entrevistas con los líderes de la región.

El estudio pre-existente más importante utilizando en la investigación fue el Ecomapeamento del río Urubu (Pedroso y Santos, 2008), el Estudio de Percepción del Riesgo Ambiental y el Cambio Climático en el río de la Cuenca (Andrade y otros, 2011) y el Plan Operativo para la Prevención y Combate de los Incendios Forestales en la Comunidad Rural de Valle Urubu (Gouveia 2011).

Con estos estudios y algunas entrevistas abiertas con los líderes locales, fue posible entender el contexto social y el problema de los incendios forestales en la comunidad rural y comparar esta realidad con el ISO31000 y el Programa Firewise.

Esta comparación nos permite observar los puntos similares en estas estructuras y los puntos que era necesario mejorar en la realidad de la comunidad rural, con el fin de implementar un plan de gestión de riesgos.

Resultados y Discusión

La Comunidad Rural de Valle de Urubu fue capaz de crear una red social, la cual depende de participación individual en la ética ambiental y la alta capacidad de movilización. Según Andrade y otros (2011) entre la comunidad existe la percepción del alto riesgo de incendios forestales en la región y la movilización del combate, además la reducción de riesgo de incendios es una prioridad.

La movilización social en la Comunidad Rural de Valle de Urubu ha emergido en varias ocasiones desde la década de 1980, cuando se organizó una asociación para el proceso de la tendencia sobre la tierra experimentando en la región, sin embargo, las preocupaciones ambientales formaron parte de la agenda planteada por algunos individuos. Algunos residentes mencionaron los problemas ambientales, tales como la escasez de agua, contaminación del agua, eliminación de residuos, deforestación, pérdida de biodiversidad, erosión del suelo, inundaciones e incendios. Un creciente sentimiento de pertenencia y corresponsabilidad para la región contribuyó a impulsar la preservación de la naturaleza, las iniciativas agroforestales y agroecológicas y los proyectos de manejo del agua (Pedroso y Santos 2008).

Este sentimiento de pertenencia proviene de la percepción de los residentes, que ven su casa como una cuenca viviente “ecobacia”, como un área de muchos manantiales que se alimentan del lago Paranoá, y cuenta con corredores ecológicos para muchas especies, a pesar de que esta región se encuentra muy cerca de la zona verde de Brasilia. Algunas de las características más importantes de los residentes locales son (Pedroso y Santos, 2008):

- El tiempo de residencia 90 % de los residentes que llegaron desde 1990
- Educación superior 40 %; 15% primaria
- Ingreso familiar: 27 % menos de 9,33.00 dólares y 20 % más de 3420.00 dólares
- Calidad de vida: buena 65 %, 10 % mala
- Razones para vivir en la región: 45 % la naturaleza y 44 % el ocio

El hermoso escenario natural, remanentes de sabana, ríos, cascadas, pequeños mamíferos y aves, atrae a las personas e impulsa en ellos la necesidad de organizarse para proteger y preservar su ambiente. El área de la Comunidad Rural se encuentra cerca de las carreteras y las áreas de crecimiento urbano, como se muestra en la imagen 1.



Imagen 1— Ubicación del río de la Cuenca de Urubu y sus subdivisiones.

Fuente: <http://www.ibram.df.gov.br/sites/400/406/00001637.pdf>

La comunidad dispone de movimientos, asociaciones e instituciones creadas por la población local, para trabajar en el mejoramiento de la calidad de vida. Entre estas instituciones, el Instituto Salvia ha estado en la región desde 1998, y desarrolló el Proyecto Aclimar, Plantación de Árboles y Cosecha de Agua, en colaboración con la Universidad Católica de Brasilia. En particular, este proyecto ha sido importante, entre otras cosas, para el desarrollo de estudios sobre la Percepción de Riesgos Ambientales y el Cambio Climático en la Cuenca de Urubu para su enfoque inicial (Andrade y otros 2011).

Este estudio, utilizando cuestionarios, construyó la matriz de riesgos ambientales percibidos en la región, a partir de la percepción de la frecuencia de 22 riesgos ambientales, que van desde 1 (baja frecuencia) a 4 (alta frecuencia) y la percepción de los impactos ambientales en las personas y la propiedad, que va de 3 (menor impacto) a 9 (mayor impacto), como a continuación muestra el Cuadro 1.

Cuadro 1- *Matriz de frecuencia, impacto y clasificación de riesgo de la percepción de riesgo*

Frecuencia (F)	Impacto (I)	Riesgo (F x I)	Clasificación de Riesgo
1 - 4	3 - 9	3-8	Insignificante
		8-14	Aceptable
		14-28	Alto
		28-36	Crítico

Fuente: Andrade y otros (2011)

Este estudio muestra que la Percepción de Riesgo de los residentes en promedio ubica a los incendios forestales entre los 6 riesgos de alto nivel, como se muestra en la Figura 1.

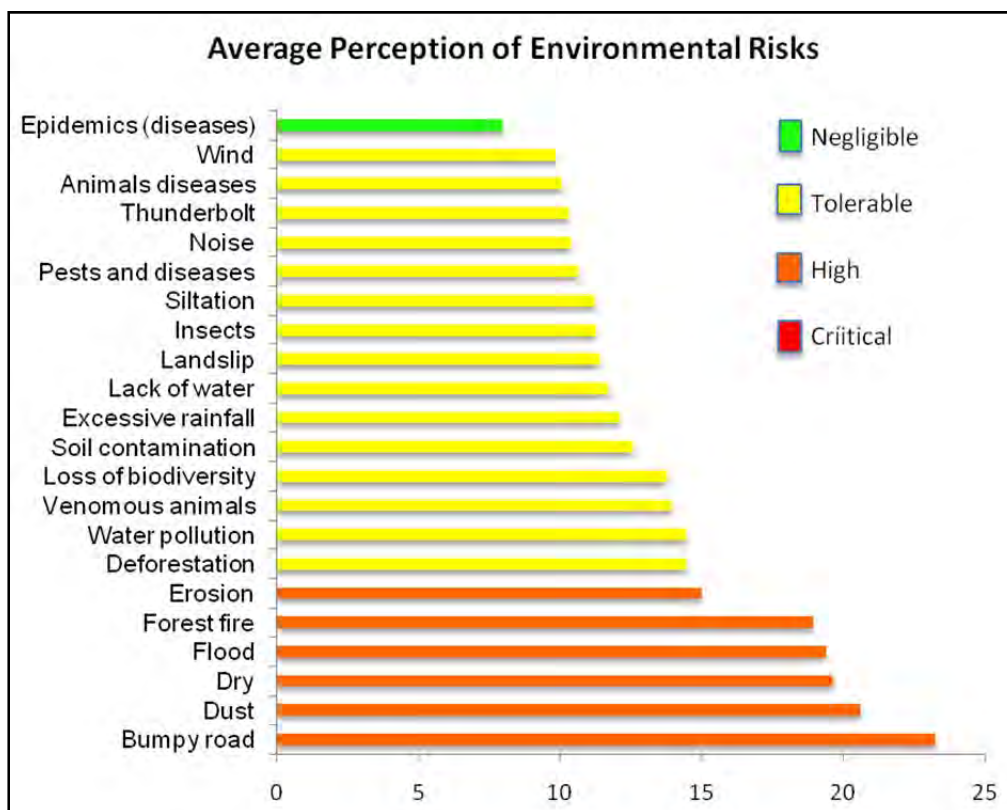


Figura 1—Percepción de la clasificación del riesgo ambiental para cada una de las 22 amenazas en la Comunidad Rural de Valle de Urubu.

Fuente: Andrade y otros (2011)

A pesar de que el promedio de la percepción del riesgo para los incendios forestales ha sido “alto”, algunas zonas de la comunidad rural han clasificado este riesgo como “crítico”, como se muestra en la figura 2. Estas áreas críticas se encuentran cerca de las áreas urbanas en crecimiento.

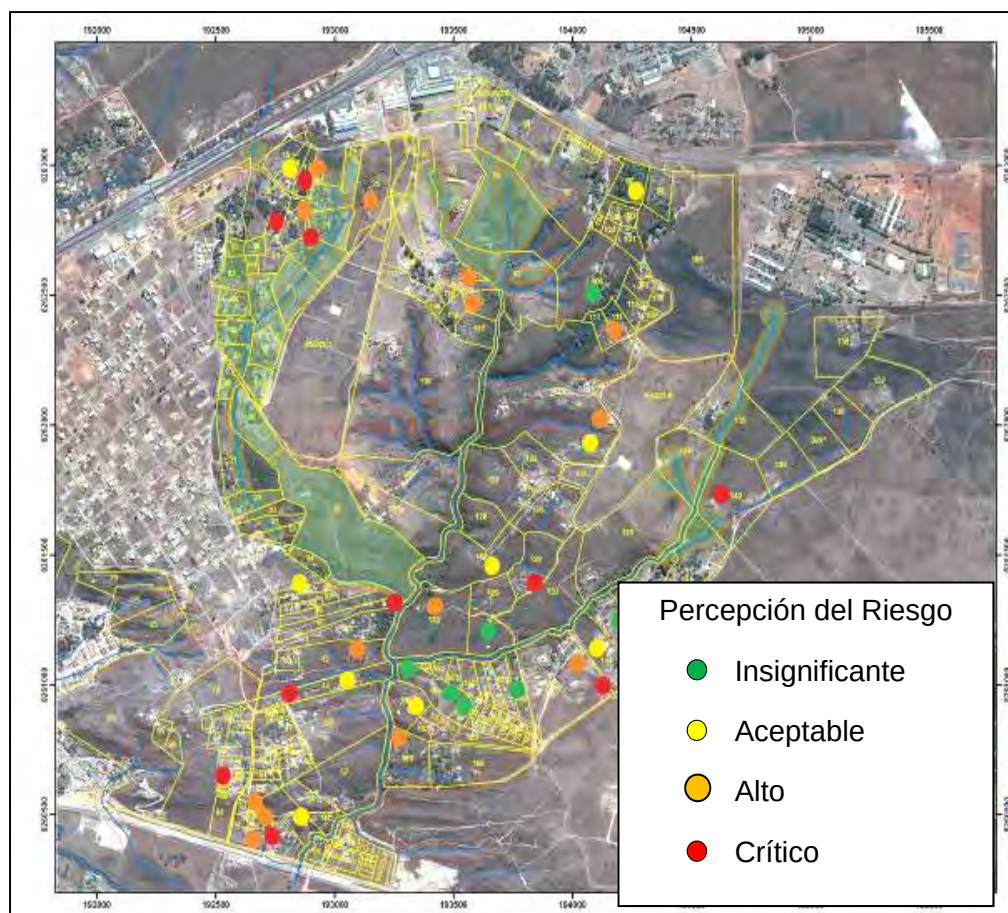


Figura 2—Percepción especializada del riesgo de los incendios forestales en la Comunidad Rural de Valle Urubu.

Fuente: Andrade y otros (2011)

La percepción del riesgo ayuda a entender como esta comunidad se ha organizado en torno a la prevención de los incendios forestales.

De esta forma la gente empezó a actuar de una manera más organizada en relación a los incendios forestales que carecían del “cómo”, que llegó a través de la realización de las Brigadas de Capacitación para la Prevención y el Combate de los Incendios Forestales, impulsados por las instituciones locales junto con el Centro Nacional para la Prevención y Combate de los Incendios Forestales -Prevfogoel Instituto Brasileño del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables – IBAMA.

Esta brigada fue solo posible gracias a la red social que trabaja en la región, que reúne a los residentes que han trabajado con incendios forestales, investigadores universitarios y a la Universidad Católica de Brasilia, que trabaja para proteger los recursos hídricos y las ONGs como la WWF y el movimiento Salvando al Valle de Urubu.

Esta red ha ayudado a desarrollar la capacitación y el funcionamiento de la brigada local contra la amenaza de incendios, proporcionando medios logísticos como el transporte, medios de comunicación y almacenamiento de equipo y herramientas.

Para el desarrollo del plan de manejo de incendios para la Comunidad Rural de Valle de Urubu, en este estudio se realizó una comparación entre la realidad local y el programa de las Comunidades Firewise, que se basa en la Norma Técnica para la Gestión del Riesgo Ambiental ISO31000.

En este artículo se muestran algunas de las correlaciones más importantes entre la estructura ISO31000 y la realidad en la comunidad rural y las Comunidades Firewise:

- **Mandato y compromiso:** es importante que la comunidad rural entienda que, como en el caso del Programa de las Comunidades Firewise es necesario definir quién será el responsable de la gestión del riesgo y de la coordinación de todo el proceso. En este punto, la comunidad sigue fallando.
- **Establecimiento de la política de gestión de riesgos:** en el Programa Firewise, la comunidad realiza encuentros para establecer la mejor manera de actuar en esta región. En la Comunidad de Valle de Urubu se creó un Plan Operativo para guiar la creación de una política de gestión del riesgo más general, la cual se conforma por una asociación entre algunos de los institutos y una persona que trabaja con incendios forestales.
- **Responsabilidad:** Es necesario que la comunidad rural asigne responsabilidades para los incendios forestales entre el gobierno y la comunidad, como se ha realizado con el Programa Firewise.
- **Integración en los procesos de organización:** en el Programa Firewise, los técnicos tienen un conocimiento previo con el fin de poder interactuar con la realidad de las comunidades, en busca de la mejor aplicación de las técnicas de prevención para la realidad. La comunidad rural aún tiene que analizar la integración del conocimiento, la presencia de la brigada y la gestión en los hogares.
- **Mecanismos de información e informes internos y publicación externa:** La Comunidad debe fomentar mayor participación de la comunidad en la toma de decisiones en las reuniones y los procesos, y puede mejorar su trabajo proponiendo algo como las “Mejores Prácticas – Plan de Comunicación”, del Programa Firewise.
- **Implementación del marco para la gestión del riesgo:** la implementación depende de toda la estructura creada y las características locales. La estructura de la gestión del riesgo debe ser implementada en el momento oportuno, permitiendo a los propietarios y a las instituciones dedicar sus

esfuerzos a esta meta, incluyendo las sesiones de capacitación y la información.

Es necesario utilizar la estructura ISO31000 para implementar un plan de gestión del riesgo ambiental, después de crear todo el marco. Durante esta etapa, lo más importante es definir como trabajar con el riesgo, definiendo, identificando el tratamiento necesario para tener éxito en la protección del riesgo.

Como parte de la implementación, el ISO31000 propone:

- **Definir los criterios del riesgo:** En el Programa Firewise, los criterios para medir el riesgo son generalmente tres: tipo de combustible vegetal, topografía y pendiente de la frecuencia de las condiciones climáticas propicias para los incendios forestales. La Comunidad Rural de Valle Urubu necesita definir los criterios que se utilizarán, los cuales podrían ser: una matriz de riesgo desarrollada en este estudio, los datos acumulados de los focos rojos y las áreas de interés significativo para la comunidad. Se requiere de datos espaciales y mapas de los focos rojos.
- **Identificar riesgos:** El Programa Firewise proporciona los conocimientos y los materiales necesarios para ayudar a las personas a identificar las principales fuentes de riesgo para la comunidad. La comunidad rural puede leer este material y debe realizar un estudio de las personas y las instituciones que trabajan en el tema para identificar las causas principales, orígenes y consecuencias de los incendios en la región.
- **Análisis de riesgo:** En esta etapa, la comunidad rural debe estipular la frecuencia y severidad de la ocurrencia de los incendios forestales e identificar a qué categoría pertenece este riesgo, mediante la matriz de riesgo construido en la etapa de Definición de Criterios de Riesgo.
- **Evaluación de riesgos:** Los materiales producidos por el programa para permitir a los residentes que conozcan cual es la mejor acción para evitar el riesgo de dar apoyo de a los incendios a la decisión de la Comunidad Rural de Valle de Urubu sobre el tratamiento que se debe adoptar. Los riesgos clasificados, deben ser comparados con el contexto inicial para definir qué tipo de tratamiento se asignará a cada área. Se debe continuar con la metodología adoptada por el proyecto de aclimatación.
- **Tratamiento de Riesgo:** En base a reuniones, capacitación y materiales distribuidos, la comunidad debe implementar los tratamientos adecuados. Los tratamientos prescritos al riesgo de los incendios en diferentes áreas debe definirse de manera individual, utilizando el nuevo conocimiento y las prácticas ya empleadas en la región, como se ha realizado por el proyecto de aclimatación.

- **Seguimiento y evaluación:** El programa prevé la importancia de supervisar su funcionamiento. Este paso involucra a los actores que participan de forma directa en el Plan de Gestión, incluyendo a los encargados de combatir los incendios, propietarios y organizaciones para evaluar su funcionamiento.
- **Registro del proceso de gestión del riesgo:** Las comunidades se animan a informar sobre la toma de decisiones de manera organizada y estandarizada, la cual facilita el registro del proceso de gestión. Todas las actividades de la brigada y las reuniones sobre el tema de los incendios forestales en la Comunidad Rural de Valle de Urubu debe ser registrado con el fin de poder realizar un seguimiento de la toma de decisiones.

Conclusiones

La percepción del riesgo de los incendios forestales, la capacidad de movilización y las redes sociales ayudaron a crear y mantener la brigada contra incendios en la Comunidad Rural de Valle Urubu.

Sin embargo, es necesario que se reconozcan las responsabilidades y mejorar el conocimiento sobre la gestión de los incendios forestales para poder tener éxito en la protección de la comunidad. Una manera de mejorar este conocimiento es conocer otras experiencias como la del Programa de la Comunidad Firewise, su filosofía, materiales y “la manera en la que actúan”.

La experiencia de la Comunidad Rural de Valle de Urubu es un ejemplo exitoso que el Gobierno puede usar para proteger todas las áreas periurbanas en el Distrito Federal de Brasil.

Referencias

- São Paulo (State). Secretary of Environment.** 2004. Environmental Atlas of Sao Paulo - The green, the territory, the human being: Diagnosis and bases for the definition of public policies for the green areas in the city of São Paulo. São Paulo..
- Brazilian Association of Technical Standards.** NBR ISO 31000:2009. 2011. Risk management - Principles and Guidelines. Rio de Janeiro: ABNT,
- Pedroso, M.D.S.C., Santos, V.J.D.** 2008. Ecomapeamento Creek Watershed of the Urubu. Brasília: Seeding Education, Under revision.
- Andrade, R.M.T.D., Delphino, R.M., dos Santos, M.J., Souza, M., Miccolis, A.** 2011. Study of Perception of Environmental Risk and Climate Change in the Stream Watershed of the Urubu, Brasília – DF, 2011. XIV Encontro da Rede Luso-Brasileira de Estudos Ambientais. Recife.
- Gouveia, G.P.** 2011. Operational Plan for Preventing and Fighting Forest Fire in the Urubu Valley Rural Community. Brasília: Movimento Salve o Urubu.

Evaluación de la Inflamabilidad de Árboles y Arbustos Utilizados en la Implementación de Barreras Verdes en el Sur del Brasil¹

Antonio Carlos Batista², Daniela Biondi², Alexandre França Tetto², Rafaela de Assunção³, Andressa Tres³, Raquel Costa Chiao Travenisk³, y Bruna Kovalsyki³

Resumen

El propósito de la barrera verde es reducir la propagación y la intensidad del fuego, sobre todo haciendo que el fuego no se propague a las copas de los árboles, lo que facilita el control y extinción de incendios. Una dificultad importante en la aplicación de barreras verdes es la identificación de las especies adecuadas para la formación de estas estructuras. El objetivo de este estudio fue evaluar la inflamabilidad de algunas especies de árboles y arbustos utilizados en la silvicultura urbana y carreteras de Curitiba para su empleo en barreras verdes en la interfaz urbano-rural de ciudades del sur de Brasil. Para lograr esto, se realizaron pruebas del comportamiento del fuego y de inflamabilidad (ensayos en epirradiator) en el Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad Federal de Paraná de las siguientes especies: *Magnolia grandiflora* L., *Michelia champaca* L., *Jasminum mesnyi* Hance, *Casearia sylvestris* Sw. y *Viburnum odoratissimum* Ker Gawl. Los resultados de los ensayos mostraron que la especie *J. mesnyi* es extramamente inflamaveble (VI=5), *M. grandiflora* y *C. sylvestris* son altamente inflamables (VI = 4), mientras las especies *M. champaca* y *V. odoratissimum* son moderadamente inflamables (VI =3) e poco inflamables, respectivamente.

Palabras clave: epirradiator, inflamabilidad, prevención de incendios.

Introducción

La implantación de áreas cortafuegos para prevenir o reducir la propagación del fuego de una zona a otra es una técnica de silvicultura preventiva muy simple y efectiva, especialmente cuando se tienen grandes áreas reforestadas con especies altamente inflamables, tales como las coníferas, por ejemplo.

Un cortafuego es un obstáculo o un cambio en el tipo de combustible altamente

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales, noviembre 5-11 de 2012; Ciudad de México, México.

² M.Sc, DSc. Profesores del Curso de Ingeniería Forestal da Universidade Federal do Paraná; Email: batistaufpr@ufpr.br, dbiondi@ufpr.br, y tetto@ufpr.br respectivamente.

³ Alumnas del Curso de Ingeniería Forestal da Universidade Federal do Paraná. rafa.assunc@gmail.com, dessatres@gmail.com, raqnisk@gmail.com, y bru_kovalsyki@hotmail.com, respectivamente

inflamable para un combustible menos inflamable. Los cortafuegos pueden ser naturales (un río o un bosque de hoja caduca) o artificiales (FPInnovations 2009). Barreras verdes construidas por el hombre se encuentran estratégicamente ubicadas para proteger los valores en riesgo y son bloques en general, anchos o estrechos en los que la vegetación densa o inflamable es continuamente alterada para una cobertura con un menor volumen y / o baja inflamabilidad (Green 1977).

La materia vegetal es siempre combustible, pero no siempre es inflamable. La inflamabilidad varía según la especie y el contenido de humedad (Vélez 2000).

El objetivo de la barrera verde es disminuir la velocidad de la propagación y la intensidad del fuego, principalmente haciendo que el fuego no se propague por las copas de los árboles, facilitando de esa manera el control y combate a los incendios. Tian y otros (2007) consideran que la barrera verde tiene un papel muy importante en el manejo del combustible y en el sistema de manejo de paisajes.

En el Brasil, las barreras verdes, también conocidas como “cortafuegos verdes”, son poco conocidas y poco utilizadas en la prevención de incendios forestales, a pesar de ser recomendadas hace muchos años por los manuales de prevención y combate a los incendios forestales (Soares e Batista 2007, Ribeiro y otros 2007, Batista e Soares 2008).

Una de las mayores dificultades en la implantación de barreras verdes es la identificación de especies adecuadas para formación de esas estructuras.

El objetivo de este estudio fue evaluar la inflamabilidad de algunas especies de árboles y arbustos utilizadas en la silvicultura urbana y carreteras de Curitiba para su empleo en barreras verdes en la interfaz urbano-rural de ciudades del sur de Brasil, a través del método ya establecido por Valette (1990) y consagrado por investigadores de otras regiones del mundo.

Métodos

Todos los experimentos de laboratorio y en área abierta necesarios para el desarrollo de la investigación fueron realizados en el laboratorio de incendios forestales del Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad Federal de Paraná.

Las especies utilizadas en los experimentos fueron seleccionadas con base en las características de especies arbóreas y arbustivas descritas por Biondi (2002), Lorenzi (1992, 1998), Lorenzi e Souza (2001), Lorenzi y otros (2003) y en la metodología propuesta por Biondi y Batista (2010). Las especies seleccionadas fueron:

- *Jasminum mesnyi* Hance, fam. Oleaceae – Es un arbusto perenne con textura semi-herbácea, escandente, originario de China, con muchas ramas largas 2-3 m de largo, con follaje denso y brillante, se cultiva a pleno sol, preferiblemente en lugares altos para permitir la formación de tallos pendientes (Lorenzi y Souza 2001);

- *Michelia champaca* L, fam. Magnoliaceae: árbol perenne de 7 a 10 m de altura, originario de la India y del Himalaya, tallo cilíndrico con la corteza ligeramente fisurada, con ramas dispuestas de manera que forma una copa característica piramidal en estado juvenil, hojas simples, alternas, con 10-18 cm de largo (Lorenzi y otros 2003);

- *Casearia silvestris* SW, fam. Flacourtiaceae: árbol con 4-6 m de altura, hojas persistente, glabras o rugosas y brillantes en la parte superior con 6-12 cm de largo, es una planta pionera rústica, perenne, heliófila (Lorenzi 1992) y tiene un crecimiento lento (Carvalho 2006);

- *Viburnum odoratissimum* Ker Gawl., fam. Magnoliaceae: árbol perenne, 5-7 m de altura, originario de la India, China y Japón, tallo con corteza rugosa, con lenticelas, tiene un crecimiento lento, muy rústico y tolerante a las condiciones adversas de suelo y clima (Lorenzi y Souza 2003);

- *Magnolia grandiflora* L., fam. Magnoliaceae, árbol perennifolio, 12-15 m de altura, originario de los Estados Unidos, tallo irregular con corteza no uniforme, con vigorosas ramas formando copa piramidal en la juventud y abierta en la vejez, tiene hojas simples alternas, agrupadas al final de las ramas, coriáceas, persistentes de 6-12 cm de largo, tiene un crecimiento lento y es un árbol longevo (Lorenzi y Souza 2003).

De acuerdo con Biondi y Batista (2010), para evaluar el potencial de las especies que pueden ser utilizadas en la formación de barreras verdes es necesario que sus características atiendan el máximo de requisitos relacionados con la baja inflamabilidad para dificultar la ignición y propagación del fuego. Así, por ejemplo, la especie debe ser más rústica, con copa oval o piramidal - formas más sencillas de unir las copas a través de un espaciamiento establecido; debe presentar ramificación monopódica – facilita el cruzamiento de las copas y presenta menos espacios vacíos en la copa y el tallo; las hojas deben tener textura carnosa, herbácea o coriácea, con superficies lisas y brillantes – son hojas que presentan más cantidad de agua y sin vellosidad que favorecen la ignición; el tallo debe presentar corteza muerta y lisa sin desprendimiento – es un factor que ayuda a proteger el árbol y el desprendimiento de la corteza es más un material combustible para quemar; la especie debe poseer crecimiento moderado a rápido – se refiere al tiempo de formación de la barrera e la velocidad con que la especie se recupera de los daños del fuego.

Para la realización de los experimentos fueron recolectadas hojas y ramas finas (< 0,7 cm de diámetro) de las copas de las especies previamente seleccionadas. A continuación ese material fue colocado en bolsas plásticas herméticamente cerradas, pesando e identificando detalladamente cada muestra recolectada. Ese material fue enviado para el laboratorio de incendios forestales, donde a través de procedimientos estandarizados se determinó el contenido de humedad. El contenido de humedad del

material colectado fue determinado a través de la fórmula (Soares y Batista 2007):

$U\% = ((PU - PS) / PS) \times 100$, donde:

U% = contenido de humedad del material combustible, en %;

PU = peso (húmedo) del material en el momento de la colecta;

PS = peso (seco) del material después del secado en la estufa a 75 °C por 48 horas.

Los testes de inflamabilidad fueron realizados de acuerdo con la metodología propuesta por Petriccione et al (2006) y Petriccione (2006). Se utilizó un epirradiator de 500W de potencia nominal constante, con temperatura de 250 °C. Cada muestra de 1 gramo en estado natural fue expuesta al epirradiator por 60 segundos. Fueron realizados 50 ensayos para cada especie. El potencial de ignición fue determinado por el tiempo medio hasta que el material entre en combustión después de expuesto al epirradiator (el tiempo superior a 60 segundos el teste es considerado negativo). Fueron medidos también el tiempo de combustión, o sea, el tiempo que la llama permanece visible y la longitud de la llama.

Los valores de inflamabilidad fueron obtenidos a partir del potencial de ignición (PI) y el tiempo medio de ignición (MDI), con base en la tabla 1 (Valette, 1990).

Tabla 1—Valores de inflamabilidad (Valette, 1990)

PI	< 25	25-38	39-48	42-44	45-47	48-50
MDI – s						
>32,5	0	0	0	1	1	2
27,5 – 32,5	0	0	1	1	2	2
22,5 – 27,5	0	0	1	2	2	2
17,5 – 22,5	1	1	2	2	3	3
12,5 - 17,5	1	1	2	3	3	4
< 12,5	1	2	3	3	4	5

Leyenda: PI: frecuencia de ignición (número de igniciones positivas de un total de 50 tentativas); MDI: tiempo medio de ignición, en segundos; 0 = inflamabilidad nula; 1 = poco inflamable; 2 = moderadamente inflamable; 3 = inflamable; 4 = altamente inflamable; 5 = extremadamente inflamable.

La comparación entre las medias del contenido de humedad, tiempo de ignición y duración de la combustión fueron realizadas a través de la ANOVA y teste de comparación de medias Student, Newman-Keuls (SNK).

Resultados

En la tabla 2 se presentan los valores medios de las variables de inflamabilidad de las especies estudiadas. Hubo una variación muy grande entre las medias del contenido de humedad (U%) de las especies estudiadas. *M. grandiflora* presentó el menor valor, mientras *M. champaca* presentó el mayor valor medio del contenido de humedad del material analizado. El contenido de humedad de la vegetación viva varía de acuerdo con el estado de desarrollo en que se encuentra la misma. Las características de las

estructuras de hojas y ramas también tienen influencia sobre el contenido de humedad de las especies. El contenido de humedad de la vegetación es una de las más importantes propiedades que controlan la inflamabilidad de los combustibles vivos y muertos

Tabla 2—Valores medios de las variables de inflamabilidad de las especies estudiadas.

Especie	U%	MDC	LL	MDI	VI
<i>Viburnum odoratissimum</i>	163,1 bc*	4,74 a	10,64 b	18,2	2
<i>Michelia champaca</i>	183,7 c	3,87 a	8,16 a	13,1	3
<i>Magnolia grandiflora</i>	116,8 a	7,44 b	25,22 d	12,5	4
<i>Casearia silvestris</i>	164,5 bc	5,32 a	13,46 c	15,7	4
<i>Jasminum mesnyi</i>	179,1 c	18,53 c	13,92 c	10,9	5

Leyenda: U% - humedad del material en %; MDC – tiempo medio de duración de la combustión, en segundos; MDI – tiempo medio de ignición, en segundos; LL – longitud de la llama, en cm; VI – valor de inflamabilidad.

*Medias seguidas de la misma letra en la columna no difieren entre sí por el teste SNK al nivel de 95% de significancia.

Las medias del tiempo de duración de la combustión (MDC) no presentaron grande variación entre las especies probadas. Solamente la especie *J. mesnyi* se destacó de las demás presentando un MDC medio aproximadamente 3 veces mayor que las demás especies.

La variable longitud de llama (LL) presentó diferencia significativa entre casi todas la especies estudiadas. Esa variable refleja la intensidad del fuego, o sea, cuanto mayor la extensión de la llama, mayor la cantidad de energía liberada. La especie *M. grandiflora* presentó la mayor media de LL y *Michelia champaca* la menor.

La inflamabilidad (VI) de las especies evaluadas varió en función del tiempo medio de ignición (MDI) y de su frecuencia (PI), de acuerdo con la tabla 1.

Las especies que presentaron los menores valores de VI también presentaron los menores de MDC y LL.

Discusión

De acuerdo con los resultados de la tabla 2, se puede verificar que *J. mesnyi* es la especie que presenta el mayor nivel de inflamabilidad, o sea, es extremadamente inflamable, mientras *C. silvestris* y *M. grandiflora* son altamente inflamables. Las especies *Michelia champaca* y *Viburnum odoratissimum* presentan los menores valores de inflamabilidad y de acuerdo con la metodología de Valette (1190) fueron clasificadas como inflamable y moderadamente inflamable, respectivamente.

La inflamabilidad de una planta depende del tipo, de la calidad del tejido y del contenido de agua en las hojas y ramas. Se espera una mayor inflamabilidad de las especies que presentan bajos contenidos de humedad (Petriccione 2006). En la figura

1 se puede observar que no existe ninguna correlación entre la humedad de las especies y la inflamabilidad, contrariando esas expectativas.

Resultados muy similares fueron encontrados por Petrucione (2006) cuando evaluó la inflamabilidad de diversas especies vegetales de Italia. Mientras varios investigadores enfatizan la influencia de la humedad en la inflamabilidad de la vegetación (Delabraze y Valette 1982, Soares y Batista 2007), los resultados de los analisis realizados no comprobaron eso. Hay necesidad de estudios más detallados sobre otros aspectos relevantes asociados a la inflamabilidad, como la presencia de compuestos organicos volatiles como aceites, resinas y gomas en los vegetales, que no fueron objeto de investigación de ese trabajo.

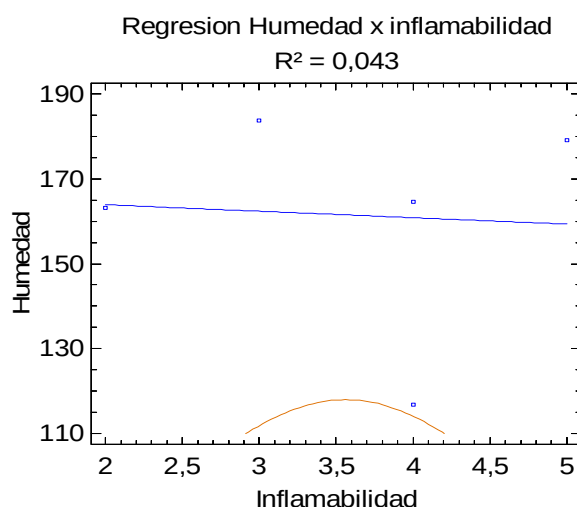


Figura 1—Correlación entre el contenido de humedad (%) de las hojas y ramas de las especies estudiadas y la inflamabilidad.

En contrario, fueron obtenidos importantes correlaciones entre los otros parametros de la combustión y el contenido de humedad, demostrando la importancia de la humedad de la vegetación en la ignición y propagación del fuego, como se puede observar en las figuras 2 y 3.

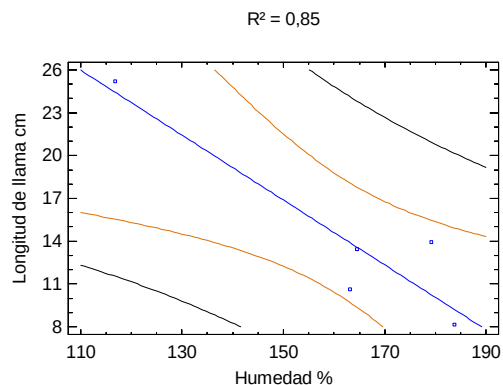


Figura 2—Influencia de la humedad de la vegetación sobre la longitud de la llama (LL).

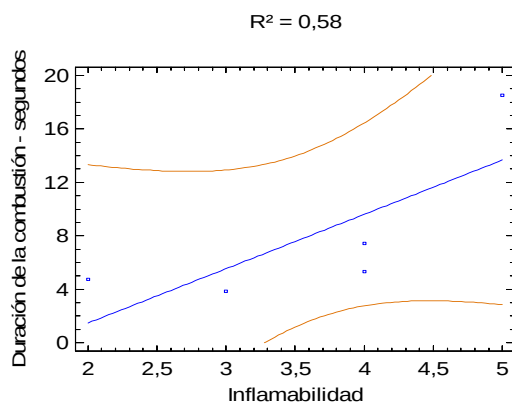


Figura 3—Influencia de la humedad de la vegetación sobre la combustión (MDC)

Los resultados observados en esos experimentos preliminares permiten concluir que la inflamabilidad de la vegetación es muy variable, dependiendo no solo del contenido de humedad, sino también de las características químicas y de la estructura de la planta. Esos análisis serán objeto de investigaciones futuras sobre el tema inflamabilidad. Otra importante conclusión que se obtuvo fue la viabilidad de utilizar el método propuesto por Valette (1990) para evaluación de la inflamabilidad de la vegetación.

Sumario

Ese estudio describe un experimento desarrollado para investigar la inflamabilidad de especies arbustivas y arbóreas empleadas en el establecimiento de barreras verdes en la interfaz urbano-rural de la región sur del Brasil. Se utilizó un método de evaluación de la inflamabilidad que es ampliamente utilizado en varios países de Europa y en los Estados Unidos de América. Las especies evaluadas fueron:

Magnolia grandiflora L., *Michelia champaca* L., *Jasminum mesnyi* Hance, *Casearia sylvestris* Sw. y *Viburnum odoratissimum* Ker Gawl. La especie *J. mesnyi* presentó el mayor nivel de inflamabilidad, o sea, es extremadamente inflamable, mientras *C. sylvestris* y *M. grandiflora* son altamente inflamables. Las especies *Michelia champaca* y *Viburnum odoratissimum* presentaron los menores valores de inflamabilidad y de acuerdo con la metodología de Valette (1190) fueron clasificadas como inflamable y moderadamente inflamable, respectivamente.

Referencias

- Batista, A.C.; Soares, R.V.** 2008. Silvicultura preventiva - uma alternativa para o controle de incêndios em reflorestamentos. In: I Encontro Brasileiro de Silvicultura, 2008, Curitiba - PR. Anais do Encontro Brasileiro de Silvicultura. Piracicaba: v. 1. p. 199-208.
- Biondi, D.** 2002. Seleção de espécies para o paisagismo rodoviário. Curitiba: FUPEF. Série Técnica. 11p.
- Biondi, D.; Batista, A. C.** 2010.. Ornamental plant species of Brazil and their potential use as fire breaks. In: VI International Conference on Forest Fire Research, 2010, Coimbra. Abstracts - VI International Conference on Forest Fire Research - CD-ROM. Coimbra - Portugal: ADAI/CEIF - Ed. Domingos X. Viegas, 2010. v. 1. p. 1-8.
- Carvalho, P.E.R.** 2006. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas; 627p.
- Delabraze, P.; Valette, J.C.** 1982. The Use of Fire in Silviculture. Symposium on Dynamics and Management of Mediterranean-type Ecosystems June 22-26, 1981, San Diego, California. Gen. Tech. Rep. PSW-58. Berkeley, CA: Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- FPInnovations, Wildland Fire Operations Research Group. Alberta, Canada.** 2009. Fuelbreak effectiveness: state of the knowledge. In: <http://fire.feric.ca/36532008/FuelBreakLiteratureSummary.pdf> (acceso en 20/07/2009).
- Green, L.R.** 1977. Fuelbreaks and other fuel modification for wildland fire control. USDA Agriculture Handbook, 499.
- Lorenzi, H.** 1992. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum; 315p.
- Lorenzi, H.** 1998. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum; v. 2. 376 p.
- Lorenzi, H.; Souza, H.M.** 2001. Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum; 1088 p.
- Lorenzi, H.; Souza, H.M.; Torres, M.A.; Bacher, L.B.** 2003. Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum; 368 p.
- Petriccione, M.** 2006. Infiammabilità della lettiera di iverse specie vegetali di ambiente Mediterraneo. Università Degli Studi Di Napoli Federico II, Dipartimento di Biologia Strutturale e Funzionale, 48 p. (Tesi Di Dottorato In Biologia Applicata)

- Petriccione, M.; Moro, C.; Rutigliano, F.A. 2006.** Preliminary studies on litter flammability in Mediterranean region. In: International Conference on Forest Fire Research, 5., , Figueira da Foz, Portugal. Proceedings of... [S.I.: s.n.] 6p.
- Ribeiro, G.A.; Lima, G.S.; Oliveira, A.L.S.; Camargos, V.L. 2007** (in press). Uso de vegetação como aceiro verde na redução da propagação de fogo sob linhas de transmissão. Revista CERES, UFV.
- Tian, X.R.; Shu, I.F.; Wang, M.Y. 2007.** Study on Eight Tree Species' Combustibility and Fuelbreak Effectiveness.....In: IV International Wildland Fire Conference, 2007, Sevilha - Espanha. Actas de La IV Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales. Madrid - España: Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, v. 1. p. 1-11.
- Valette J.C. 1990.** Inflammabilités des espèces forestières méditerranéennes. Rev. Forest. Fr. 42, 76-92.
- Vélez, R. 2000.** La defensa contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. Madrid: McGraw Hill,

Una Comunidad de la Interfaz Urbana Forestal¹

María Cecilia Ciámpoli Halaman²

Resumen

Las comunidades ubicadas en la interfaz urbana forestal atraviesan un proceso de transformación hasta que logran prevenirse contra los incendios que se producen en el área. En este trabajo se analizó ese proceso para el barrio Estación, de la ciudad de Esquel, provincia de Chubut, República Argentina. El análisis se realizó mediante una comparación del nivel de peligro diagnosticado para cada vivienda del barrio en el año 2004 con el diagnosticado utilizando la misma metodología en el año 2011. Se indagó además sobre el comportamiento de los vecinos del barrio frente a la problemática de vivir en esa área, analizando los resultados de entrevistas que les realizaron durante el año 2011. Resultó que las viviendas redujeron su nivel de peligro individual en el 72% de los casos. Sin embargo, el propósito de los vecinos no fue el de mejorar su situación frente a los incendios de interfaz al reacondicionar sus viviendas. Por lo tanto a pesar de haber disminuido su peligro de incendios, esta comunidad continúa en el proceso de transformación hacia la prevención. Para poder considerar a una comunidad prevenida frente a los incendios de interfaz urbano forestal es indispensable que su nivel de peligro sea bajo por consecuencia de la concientización de sus habitantes.

Palabras Clave: *Comunidad, concientización, interfaz, peligro, prevención.*

Introducción

El paisaje ha sido modelado con la presencia del fuego desde tiempos inmemoriales (Willis 1914, Raish 2005). Sin embargo, recientemente comenzó a responder además a una interacción entre los fenómenos naturales y las actividades de las personas (Farina 2000, Forman, 1995), podemos deducir de esta interacción actual, que queda implícito el vínculo entre el paisaje y la sociedad. No solo, porque es la sociedad quien lo percibe sino porque también participa en su modelado (Nogué 2007)

La necesidad de defender el paisaje contra los incendios surgió consecuente a la

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación, y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales; nov 5-11, 2012, Ciudad de México, México.

² Coordinadora Nacional de Prevención e Información del Plan Nacional de Manejo del Fuego (PNMF) Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable Argentina. Ruta 259 km 4 Esquel Chubut Argentina; email: cciampoli@ambiente.gob.ar.

interacción fenómenos naturales - actividades humanas (Tortorelli 1947). Hoy en día esta necesidad se incrementa para las áreas forestales circundantes a los núcleos urbanos (Sonner 1994), donde se producen los incendios de interfaz urbano-forestal (IUF), (Vélez, 2000). En la IUF se incrementa la frecuencia y amenaza de los incendios a medida que aumenta la tasa de crecimiento poblacional (SDSyPA PNMF & BCFS 2002). Sin embargo, la población del lugar generalmente no toma consciencia ante el peligro existente (Farías 2009).

Prevenir es la clave, y como cualquier iniciativa debe ser cuidadosamente planificada para resultar exitosa (VIII Región Chile, CONAF 2006). En Argentina, se ha desarrollado una guía para la prevención de incendios de interfaz. Utilizando dicha guía se caracterizó en el 2004 en la provincia de Chubut, ciudad de Esquel, al área de interfaz urbano-forestal llamada barrio Estación.

Para abordar la prevención de incendios de interfaz del barrio Estación en el año 2004 se comenzó con el diagnóstico de la situación, ya que es el primer paso de la planificación. Se realizó como diagnóstico la evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas frente al fuego mediante criterios normalizados.

Desde ese momento (2004) la ciudad de Esquel progresó en cuanto a sus estructuras edilicias (Schulz 2012, com. pers.), aunque no lo hizo por varios años en cuanto a la organización de la temática específica de los incendios de interfaz (Epele 2012, com. pers.). Por esa razón ante la iniciativa de los servicios de incendios locales de retomar el análisis de la problemática (2011) se comenzó por reevaluar el peligro existente en las viviendas del barrio Estación, considerado área piloto.

Se comienza a vislumbrar la iniciativa de la comunidad de Esquel, apuntando hacia la preparación contra los incendios que se producen en el área de interfaz urbano-forestal.

Objetivo

El objetivo del trabajo es determinar si una comunidad se encuentra prevenida frente a los incendios de interfaz urbano forestal, mediante el análisis del proceso de transformación del barrio Estación.

Objetivos Específicos

1. Determinar si se produjo una reducción del peligro de incendios en las viviendas del área de interfaz seleccionada entre el año 2004 y el 2011.
2. Determinar el comportamiento de los habitantes del área con respecto al peligro de incendios de interfaz.

Metodología

Área de Estudio

Esquel es la ciudad central de su territorio que se extiende en la región oeste de la Provincia de Chubut, entre los 42° 54' y 43° lat. Sur, en la franja oriental de la Cordillera Norpatagónica. La ciudad reúne en su área de influencia unas 30.000 personas. La actividad económica se encuentra nucleada en tres organizaciones corporativas: la Sociedad Rural, la Cámara de Comercio, Industria, Producción y Turismo y la Cámara de Prestadores de Servicios Turísticos; posee cuatro sucursales bancarias.

El clima de la región corresponde al templado-frío, con precipitaciones nivales y pluviales durante los meses invernales. El promedio de lluvias alcanza en Esquel los 590 mm anuales. Los vientos, en general, clasificados como moderados a fuertes, registran velocidades máximas en primavera-verano, predominando los vientos del cuadrante oeste-suroeste. En la zona de Esquel, los valles se orientan de noreste a suroeste.

El ejido municipal de la ciudad de Esquel se ubica en una franja que constituye una zona de ecotono, transición entre los bosques templados-fríos al oeste, sobre la Cordillera de los Andes y la estepa patagónica hacia al este.

La defensa del territorio Esquelense en cuanto a los Incendios forestales corresponde a organismos específicos de Manejo del Fuego: provinciales, regionales o nacionales según sea la magnitud del evento. Cabe mencionar al Servicio Provincial de Manejo del Fuego de Chubut (SPMF) y al Plan Nacional de Manejo del Fuego (PNMF) de la Argentina entre ellos.

El combate de los Incendios de Interfaz Urbano Forestal involucra no solo a los organismos específicos de la defensa de incendios forestales sino también a otros relacionados con las estructuras. Su coordinación ha sido prevista para Esquel y ciudades aledañas a través de planes interinstitucionales (Plan de Coordinación institucional 2010-2011).

El barrio Estación que contiene al área de estudio, es uno de los barrios de interfaz de la ciudad de Esquel (Figura 1). El área propiamente corresponde a las siete cuadras que se encuentran más cercanas a la forestación circundante al barrio Estación.

La topografía del barrio es muy particular porque se encuentra dentro de la zona de cañadones pertenecientes al Cerro Leonidas Alemán. Esta ubicación expone al barrio a corrientes de aire ascendentes o descendentes según el momento del día (Dentoni y Muñoz 2001, APN inédito), creando un poderoso efecto sobre el comportamiento de un potencial incendio (Hirsch 1996).

Otro factor de peligro de incendios para el barrio es la vegetación que lo rodea. La superficie aproximada de este rodal municipal de pinos (*Pinus ponderosa* Douglas ex Laws) es de 24 has. Presentando una alta densidad de plantación (CIEFAP 2001).



Figura 1—Imagen aérea del Barrio Estación. Fuente: Subsecretaría de Medio Ambiente de la Municipalidad de Esquel 2004.

El barrio está calificado como residencial bajo (Esquel SEAS 2001). Si bien las casas en su mayoría cuentan con los servicios básicos, luz, agua potable y gas, existen algunas excepciones. También existen zonas limítrofes al barrio conflictivas y zonas ocupadas por asentamientos ilegales.

Las construcciones son en su gran mayoría estables, con cimientos y aberturas bien terminados. Materiales duraderos y mampostería adecuada. Sin embargo, existen también casas muy precarias y algunas que no cuentan siquiera con acceso directo desde la calle, siendo necesario atravesar la propiedad de algún vecino para acceder a la vivienda en cuestión.

Las familias constan de cinco o seis integrantes generalmente. Ambos padres trabajan y reciben en su mayoría alguna ayuda económica estatal. El ingreso promedio mensual es de unos \$ 3000 (pesos Argentinos, equivalentes a aproximadamente 500 euros), siendo las profesiones más generalizadas la construcción para los hombres y el servicio de limpieza para las mujeres. Entre las ayudas estatales que reciben cabe mencionar la ayuda para alimentación y para calefacción.

Métodos

1. Se compararon los resultados obtenidos en la evaluación del peligro de las

viviendas realizada en el barrio Estación en el año 2004 con la realizada en el año 2011. La comparación consistió en determinar igualdades o diferencias en el grado de peligro final obtenido entre ambas evaluaciones (2004 y 2011) para cada una de las 53 viviendas, considerando también los criterios por los cuales se obtuvo ese peligro. Los criterios fueron además reclasificados según la dificultad en su implementación.

El procedimiento adoptado para ambas evaluaciones se encuentra detallado en los respectivos trabajos realizados (Ciámpoli Halaman 2004, 2011) cabe aclarar que fue el propuesto en la Guía para la prevención de incendios de interfase en la República Argentina (SDSyPA PNMF & BCFS 2002).

Se presentan en la tabla a continuación (ver cuadro 1) los criterios reclasificados según su grado de dificultad en la implementación:

1. Medidas simples: solo requieren de la voluntad del propietario para ser realizadas.
2. Medidas medias: requieren de alguna inversión monetaria además del esfuerzo del propietario.
3. Medidas estructurales: requieren de una restructuración profunda para poder ser implementadas.

Estas recomendaciones fueron propuestas en el barrio Estación entre otras áreas de la provincia de Chubut.

2. Se analizó la información recopilada en 46 entrevistas realizadas a los vecinos del barrio en el año 2011 con el propósito de determinar su comportamiento con respecto al peligro de incendios. El análisis consistió en identificar las preguntas dentro de la encuesta que concernían a la temática en cuestión y clasificar sus respuestas porcentualmente. La técnica de entrevista empleada fue la de encuesta directa a los vecinos, en forma individual (CONAF 2006) Con apoyo gráfico representado por folletería entregada a cada vecino entrevistado (Ciámpoli Halaman 2011).

Cuadro 1—Evaluación de las viviendas, Medidas simples, medias y estructurales con sus respectivas recomendaciones.

Medida	Criterio
Simple	limpieza del techo
	leña apiada y material combustible
	servicios
	medios de protección vivienda
Media	cobertura forestal conífera
	ocupación del lote
	acceso
	Factores especiales (Rociadores, Carga combustible forestal extrema, Indicación domicilio deficiente).
Estructural	ubicación de la vivienda
	material del techo
	material de los revestimientos
	Factores especiales (Acceso, ventanas, Capacidad puente).

Resultados

1. Se determinó una reducción en el peligro de incendios de las viviendas del área de interfase del barrio Estación, Esquel, Chubut, Argentina desde el 2004 hasta el 2011. Resultó que de las 53 viviendas comparadas el 72% obtuvo un puntaje menor en el año 2011 respecto al evaluado en el año 2004. De estas viviendas que disminuyeron su peligro, el 51 % quedó clasificado en una categoría inferior por un nivel a la que se encontraba en la evaluación anterior.

De los criterios evaluados:

Las medidas simples en general fueron acatadas: los techos se limpiaron, la leña o materiales combustibles fueron alejados de las viviendas o directamente eliminados, la arboleda urbana fue podada para evitar el contacto con las líneas eléctricas.

En cuanto a las medidas medias: algunas fueron mejoradas y otras no, la cobertura forestal conífera disminuyó su valor en la totalidad de las viviendas, ya que el rodal fue intervenido durante el 2011, la ocupación de los lotes disminuyó, no se

encontraron en el 2011 muchas de las construcciones precarias que existían en el 2004. Cabe aclarar sin embargo que el criterio referido al acceso prácticamente en todos los casos se mantuvo igual

Respecto a las medidas estructurales también se encontraron mejoras en algunos criterios y en otros no: a los techos en general se les reemplazaron los materiales por otros mejores, la ubicación de la vivienda prácticamente en todos los casos se mantuvo igual, los ventanales frente al bosque influyeron en el aumento del peligro de varias viviendas.

2. Del análisis de las entrevistas se obtuvieron seis preguntas que respondían a la temática, las cuales se presentan a continuación junto a los resultados de esas preguntas contestadas por 46 vecinos del barrio entrevistados, clasificadas en forma porcentual.

1) Conocimiento del entrevistado acerca del peligro que existe en la zona que habita

El 91% de los encuestados respondió que sí sabía acerca del peligro que existe en su zona. Cabe aclarar que del 9% restante la mitad solo residía allí desde hacía pocos meses y la otra mitad tampoco pertenecía a los residentes más antiguos.

2) Posesión de vehículo para realizar una evacuación

El 73% de los entrevistados contestó negativamente. Habría que considerar que del 37% que sí posee transporte propio, la gran mayoría lo utiliza para trasladarse a su lugar de trabajo por lo cual en caso de evacuación es muy posible que el vehículo no se encuentre a disposición de la causa en ese momento en la vivienda.

3) Conocimiento del número de contacto en caso de incendios

El 78% afirmó conocer el número al que debe llamar. Cabe aclarar que en la totalidad de los casos se referían al número de bomberos voluntarios, por lo cual aunque detectaran un incendio que comenzara en la forestación se comunicarían con el cuartel de bomberos voluntarios.

4) Experimentación de daños o efectos producidos por un incendio forestal en si mismo o su vivienda.

El 7% de los entrevistados contestó que había sido afectado por un incendio en el transcurso del tiempo que lleva residiendo en el barrio Estación. Este resultado es interesante ya que según las encuestas, el promedio de años que llevan habitando sus viviendas los residentes del barrio Estación es de 14. Por lo tanto, excepto 4 casos puntuales, el resto de los vecinos se encontraban allí cuando se produjo el incendio del cerro La Zeta que llegó a afectar al rodal del barrio Estación el 4 de marzo del año 2007. Figura 17: esquema del incendio ocurrido el 4 de marzo del 2007 en el cerro La Zeta.

5) Implementación de medidas de prevención por parte del vecino en su vivienda.

El 76% contestó que no había tomado ninguna medida. Este resultado incluye a la mayoría de los casos que respondieron que habían sido afectados por incendios.

6) Realización de quemas de residuos verdes

El 58% de los entrevistados respondieron negativamente. Cabe aclarar que es conocido por la gente del lugar que la autoridad de sanción por la realización de quemas es la institución a la cual pertenecen los entrevistadores. Del 42% que sí realiza quemas de residuos la gran mayoría aclaró que no tienen otra opción por la falta de recolección de los mismos.

Se vincularon también las respuestas de los vecinos entrevistados con las viviendas que disminuyeron su peligro entre una evaluación y la otra encontrándose que del total de las 38 viviendas que disminuyeron su peligro individual, en el 56% de los casos los vecinos de esas viviendas dijeron no haber tomado ninguna medida al respecto.

Discusión

Si bien el 72% de las viviendas disminuyó su peligro individual, no hubo aporte directo a esta reducción por parte de los vecinos. Entendiendo como aporte directo a acciones planificadas y realizadas con este objetivo.

Respecto al comportamiento se detectaron peculiaridades. A saber: aunque la mayoría de los vecinos (más del 90%) afirmaron tener conocimiento de vivir en un área de peligro de incendios de interfase, en general (76 %) no tomaron ninguna medida de prevención al respecto. Incluyendo en esta afirmación a mas de la mitad de los vecinos de las viviendas que disminuyeron su peligro entre evaluaciones.

Manifestaron no haber estado en peligro por incendios. Sin embargo en su mayoría ya habitaban allí cuando se produjo el incendio que afectó al rodal Estación (incendio La Zeta en el 2007, ya mencionado).

Así mismo, los pocos vecinos que sí recordaron haber estado amenazados por ese incendio, formaban parte en su mayoría (67%) del grupo que no realizó acciones para disminuir el peligro de sus viviendas.

Conclusiones

Aunque las cuestiones de índole estructural, de ordenamiento ambiental y de planeamiento urbano, evolucionaron favorablemente en cuanto a la disminución del peligro de incendios en el barrio Estación, los vecinos evidencian contradicciones en su comportamiento frente a la problemática. Por lo cual esta comunidad continúa en el proceso de transformación hacia la prevención.

Se vislumbra la preponderancia del aspecto social sobre las cuestiones

estructurales y de obras de mejora ambiental en la problemática de fuego en la interfaz urbano-forestal, ya que ninguna iniciativa podrá sostenerse sin el involucramiento de los vecinos.

Para poder considerar a una comunidad prevenida frente a los incendios de interfaz urbano forestal es indispensable que su nivel de peligro sea bajo por consecuencia de la concientización de sus habitantes.

Referencias

- Administración de Parques Nacionales (APN). Delegación Regional Patagonia. Subprograma Ecología del Fuego.** Inédito. Protección de viviendas y estructuras en incendios mixtos y de interfase.
- Ciámpoli Halaman M. C.** 2004. Caracterización del Peligro de Incendio en la Interfase Urbano Forestal. Tesis de grado. Facultad Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. 49p.
- Ciámpoli Halaman M. C.** 2011. Hacia una Comunidad Prevenida ante el Peligro de Incendio Urbano Forestal. Tesis de Master en Medio Natural, Cambio Global y Sostenibilidad Socio Ecológica. Universidad Internacional de Andalucía. España. 101p.
- CIEFAP. Dirección de Medio Ambiente y Espacios Verdes – Municipalidad de Esquel. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco Facultad de Ingeniería- Cátedra de Dasometría.** 2001. Inventario Forestal. Forestaciones Comunales Esquel. 47 p.
- Dentoni, M.C., Muñoz, M.** 2001 Glosario de Términos Relacionados con el Manejo del Fuego. Plan Nacional de Manejo del Fuego. Secretaria de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental. Argentina. 28 p.
- Esquel Seas.** 2001. Plan participativo de desarrollo local, social, económico y ambientalmente sustentable: documento final. Esquel: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Farias, M. C.** 2009. Report on fire culture in Argentina. Social representations of fire risk in an urban-forest interface – CIEFAP. Project Title FIRE PARADOX: An Innovative Approach of Integrated Wildland Fire Management Regulating the Wildfire Problem by the Wise Use of Fire: Solving the Fire Paradox. 33 p.
- Farina, A.** 2000: The cultural landscape as a model for the integration of ecology and economics. Bioscience, n° 50(4), págs. 313-320.
- Forman, R.T.T.** 1995: Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Gobierno Regional y CONAF, VIII Región.** 2006. Manual del profesional que trabaja en prevención de incendios forestales. Gobierno de Chile. Ministerio de Agricultura. CONAF. 32 p
- Hirsch, K. G.** 1996. Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System. User's guide.

- Canadian Forest Service. Northwest Region. Northern Forestry Centre. Canada. 122 p.
- Nogue, J. Eds.** 2007: La construcción social del paisaje. Editorial Biblioteca Nueva, SL. Madrid.
- Raish, C., González-Cabán A., Condie, C. J.** 2005. The importance of traditional fire use and management practices for contemporary land managers in the American Southwest. Environmental Hazards Published, by Elsevier Ltd.
- Secretaria de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental. Plan Nacional de Manejo del Fuego, Argentina. Programa de Protección de Bosques, Ministerio Forestal de British Columbia, Canadá. Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional.** 2002. Guía para la prevención de incendios de interfase. en la República Argentina. Canadá. 72 p.
- Sonner, S.** 1994. Forest homes drawing fire. The Spokesman-review.
- Tortorelli, L. A.** 1947. Los Incendios de Bosques en la Argentina. Ministerio de Agricultura de la Nación. Dirección Forestal. Buenos Aires., Argentina. 231p
- Vélez, R.** 2000. La Defensa de los Incendios Forestales - Fundamentos y Experiencias. Ed. Mac Graw Hill. Madrid, España.
- Willis, B.** 1914. El Norte de la Patagonia. Comisión de Estudios Hidrológicos. Ministerio de Obras Públicas. República Argentina. Tomo 1, 500 p.

Modelación de la Carga de Combustibles a Partir de Atributos Dasométricos en Bosques Templados del Norte de México¹

Maricela Morales-Soto² y Marín Pompa-García²

Resumen

El estudio de los combustibles constituye un factor clave para definir la vulnerabilidad de los ecosistemas a los incendios forestales. El objetivo de este trabajo fue modelar la carga de combustibles muertos en función de atributos dasométricos provenientes de los inventarios de manejo forestal. Se realizó un análisis gráfico de dispersión y a partir de tendencias explicativas entre las variables consideradas se efectuó un análisis de correlación mediante el método paso a paso (*stepwise*) del programa SAS. Los resultados mostraron que la profundidad de hojarasca, las existencias reales totales y las intensidades de corta, explican mayormente la carga de combustibles muertos como variables dependientes. Además de discutir las bondades estadísticas de los modelos estudiados se concluye que los datos de inventarios de programas de manejo constituyen una alternativa eficiente y de bajo costo para estimar las cargas de combustibles forestales.

Palabras clave: inventarios, incendios forestales, relaciones alométricas.

Introducción

Se considera como combustible forestal todo material vegetal inflamable. Los combustibles forestales se dividen en vivos y muertos; los combustibles muertos son toda biomasa que se encuentra sobre el suelo; los combustibles vivos están formados por plantas herbáceas, arbustos y el arbolado Wong y Villers (2007). Los combustibles muertos a su vez se dividen de acuerdo a su peso en combustibles ligeros y combustibles pesados. También se clasifican de acuerdo al lugar en que se encuentran dentro de un sitio en: combustibles terrestres, combustibles superficiales y combustibles aéreos (Rentarías y otros 2005).

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, noviembre 5-11 de 2012, Ciudad de México, México.

² Respectivamente, Tesista de Maestría y Profesor- investigador, Facultad de Ciencias, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Río Papaloapan y Blvd Durango s/n Col. Valle del Sur. Email: marims1@hotmail.com, y mpgarcia@ujed.mx respectivamente.

El combustible forestal es uno de los principales elementos involucrados en la ocurrencia de un incendio forestal y constituye un factor muy importante para definir el peligro de incendios forestales, ya que el grado de peligro está en función de la cantidad y del tipo de material combustible presente en cada una de las áreas forestales (Rentería y otros 2005). Es sabido que la intensidad de un incendio cambia de acuerdo al tipo de material combustible al que se vaya desplazando. Por esto es esencial el levantamiento de inventarios de combustibles forestales muertos que se realizan en la actualidad. Una de las técnicas más conocidas es la de intersecciones planares descrita por Brown en 1974, quien menciona que éste método se puede aplicar en cualquier tipo de bosque. Consiste en el conteo de las intersecciones de las piezas leñosas en planos verticales. Sobre la base de este muestreo se estima el volumen, y el peso se calcula con base en el volumen y la aplicación de estimadores de gravedad específica del material leñoso.

Desafortunadamente ésta técnica tiene el inconveniente que los datos se deben tomar *in situ*, por lo tanto se requiere dedicar bastante tiempo, esfuerzo y dinero. Por esta razón, los terrenos forestales en los que se hace la cuantificación de combustibles muertos son muy escasos. Y de aquellos que se tiene información, después de cierto tiempo dicha información estará limitada, puesto que la carga de combustible es dinámica.

La regresión stepwise es un método que facilita relacionar variables entre sí; ésta permite obtener una ecuación para predecir el valor de la variable dependiente una vez conocidos los valores de la variable independiente. Éste método es una herramienta útil, fácil y rápida en el cálculo de material combustible muerto a partir de material combustible vivo, que puede ser desarrollada en todos aquellos predios de los que se tenga información de inventarios forestales, puesto que se contará con las variables dependientes (combustible muerto) y las variables independientes (datos dasométricos) necesarias para su aplicación.

El presente trabajo tiene como objetivo estimar el material combustible muerto a partir de material combustible vivo mediante relaciones alométricas, teniendo como hipótesis la existencia de correlación entre la variable dependiente con las explicativas.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El área de estudio seleccionada, se ubica geográficamente al suroeste del estado de Durango. Sus coordenadas geográficas están entre los 23° 07' y 23° 39' latitud norte y los 105° 12' y 105° 46' de longitud al oeste. Cuenta con una superficie total de

240,739 ha, con una topografía accidentada en un sistema de topoforma de mesetas asociadas con cañadas y altitud desde 500 a 2,800 msnm. Los suelos tienen su origen en el intemperismo de rocas ígneas. Los principales usos del suelo son el agrícola, el pecuario y el forestal (Meraz 1998). La mayoría de los ecosistemas son de propiedad comunal, aunque existen algunos de propiedad privada. Los climas presentes son: C(w2), templado, subhúmedo, lluvias de verano del 5 al 10.2 por ciento anual; (A)C(w2), semicálido, templado subhúmedo, lluvias de verano del 5 al 10.2 por ciento anual; Cb'(w2), templado, semifrío, con verano fresco largo, subhúmedo, lluvias de verano del 5 al 10.2 por ciento anual; Aw1, cálido subhúmedo, lluvias de verano del 5 al 10.2 por ciento anual; C(w2), templado, subhúmedo, lluvias de verano del 5 al 10.2 por ciento anual (Pompa 2012), (Figura 1).

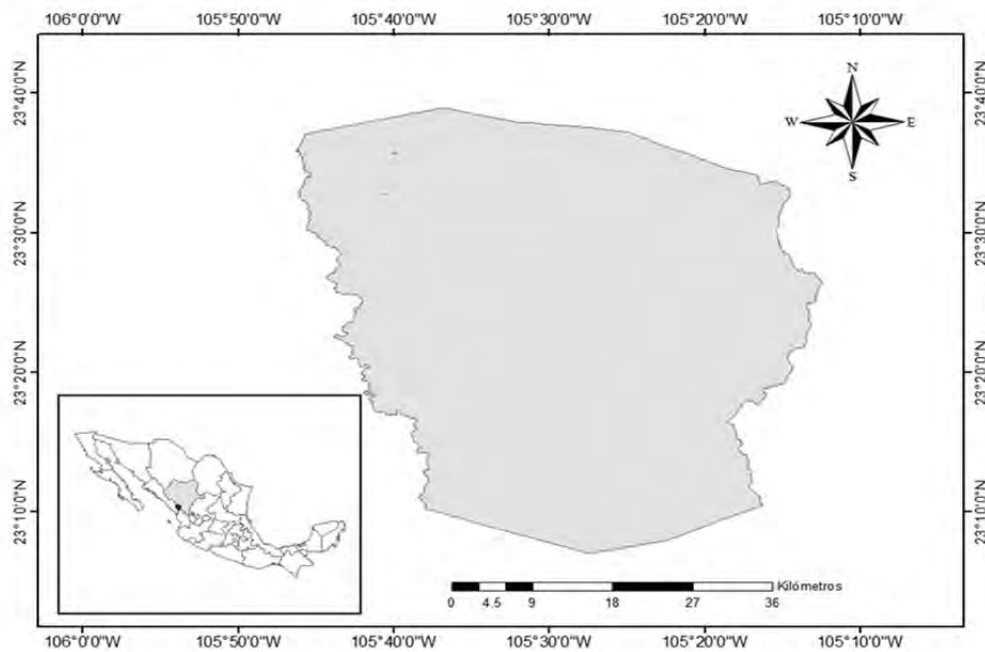


Figura 1—Localización del Ejido Pueblo Nuevo, Durango

Metodología

A partir de la disposición de datos dasométricos tales como: carga de hojarasca (Mg/ha^{-1}); combustibles leñosos ligeros, medianos y pesados (Mg/ha^{-1}); pendiente (por ciento); altura media de *Pinus* (m); remoción promedio (m^3); diámetro cuadrático de encino y pino (cm); intensidades de corta de pinos y encinos (por ciento); porcentaje de encino, de coníferas y hojosas; existencias reales de cada una de las especies (número de individuos); IMA total y nivel de productividad de los

rodas, obtenidos del inventario de manejo forestal del Ejido Pueblo Nuevo Durango, se realizó un análisis gráfico de dispersión del material combustible muerto con cada una de las variables de material combustible vivo, en el cual se identificaron tendencias de mayor relación a la carga de combustibles muertos. Una vez identificadas las variables con mayor aportación, se procesaron mediante el método paso a paso (*stepwise*) del programa SAS, para analizar las relaciones espaciales de la variable dependiente (combustible muerto) con las variables independientes (combustible vivo).

Los modelos utilizados para la estimación de la carga de los combustibles muertos fueron los siguientes (*tabla 1*).

Tabla 1—Modelos utilizados para la estimación de la carga de combustibles

Modelo
(1) $H = \beta_1 * P + \beta_2 * A + \beta_3 * R + \beta_4 * DQ + \beta_5 * ICP + \beta_6 * ICM$
(2) $T = \beta_1 * H + \beta_2 * DQ$
(3) $LP = \beta_1 * H + \beta_2 * ICQ$
(4) $PES = \beta_1 * DP$
(5) $LP = \beta_1 * OC + \beta_2 * DQ$
(6) $c3 = \beta_1 * OC + \beta_2 * DQ$
(7) $c2 = \beta_1 * OC + \beta_2 * DQ$
(8) $c1 = \beta_1 * DQ$

Donde $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ son parámetros de regresión, H es la carga de hojarasca (Mg/ha^{-1}), P es la pendiente (por ciento), A es la altura media de *Pinus* (m), R es la remoción promedio (m^3), DQ es el diámetro cuadrático de *Quercus* (cm), ICP es la intensidad de corta de pino (por ciento), ICM es la intensidad de corta promedio de *Pinus* (por ciento), T es la carga total (Mg/ha^{-1}), LP es la sumatoria de la carga de combustibles leñosos ligeros, medianos y pesados (Mg/ha^{-1}), ICQ es la intensidad de corta de *Quercus* (por ciento), PES es la carga de combustibles leñosos pesados (Mg/ha^{-1}), DP es el diámetro cuadrático de pino (cm), OC es el número total de otras coníferas (número de individuos), C1, C2, C3 son las cargas de categorías de combustibles leñosos con 1, 10 y 100 h de TR, respectivamente (Mg/ha^{-1}).

El criterio empleado para evaluar la bondad de ajuste del modelo se basará en un análisis numérico consistente en la comparación de tres estadísticos utilizados con frecuencia en el modelaje forestal: 1) el sesgo ($\bar{E}$), que evalúa la desviación del modelo con respecto a los valores observados; 2) la raíz del error medio cuadrático (*REMC*), que analiza la precisión de las estimaciones, y 3) el coeficiente de

determinación ajustado R^2_{adj} , que representa la parte de la varianza explicada por el modelo, teniendo en cuenta el número de parámetros de éste. Sus expresiones son:

Sesgo:

$$\bar{E} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) / n \quad (1)$$

Raíz del error medio cuadrático:

$$REMC = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - p)} \quad (2)$$

Coeficiente de determinación ajustado:

$$R^2_{adj} = 1 - (n-1) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n-p) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3)$$

Donde y_i , $\hat{y}_i$ y $\bar{y}$ son el valor observado, estimado y medio de la variable dependiente, respectivamente, n es el número total de observaciones usadas para ajustar el modelo, y p es el número de parámetros del modelo.

Resultados y discusión

De acuerdo con los estadísticos de ajuste obtenidos mediante el método paso a paso (*stepwise*), las variables independientes que explican mayormente la influencia de carga de combustibles muertos son: intensidad de corta de pino y encino, las existencias reales totales de pino, encino y otras hojosas y la profundidad de hojarasca (*tabla 2*).

En la *tabla 2*, los resultados muestran errores estándar cercanos a cero y R^2 confiables, lo que nos indica que hay una correlación aceptable entre las variables independientes con las dependientes. Es importante mencionar que aunque algunos modelos (2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8) tienen menor número de parámetros sus resultados son igualmente confiables a los modelos con un mayor número. Como se observa en los modelos 1 y 2 que aunque difieren en cantidad de parámetros estimados la variable calculada es la misma y sus resultados son semejantes.

Tabla 2. Modelos estimados de combustibles muertos a partir de combustibles vivos.

Modelo	Parámetros	Estimación	Error estándar	Estadísticos de ajuste REMC	R ² _{adi.}
(1)	β_1	-0.084	0.018	4.363	0.761
$H = \beta_1 * P + \beta_2 * A + \beta_3 * R + \beta_4 * DQ + \beta_5 * ICP + \beta_6 * ICM$	β_2	0.377	0.071		
	β_3	31.250	5.375		
	β_4	0.162	0.027		
	β_5	-0.066	0.015		
	β_6	-2.149	0.393		
(2) $T = \beta_1 * H + \beta_2 * DQ$	β_1	1.053	0.173	15.635	0.683
	β_2	0.413	0.044		
(3) $LP = \beta_1 * H + \beta_2 * ICQ$	β_1	1.120	0.128	17.100	0.371
	β_2	0.104	0.027		
(4) $PES = \beta_1 * DP$	β_1	0.308	0.026	14.818	0.269
(5) $LP = \beta_1 * OC + \beta_2 * DQ$	β_1	0.106	0.018	5.729	0.554
	β_2	0.149	0.009		
(6) $c3 = \beta_1 * OC + \beta_2 * DQ$	β_1	0.052	0.009	2.847	0.520
	β_2	0.068	0.004		
(7) $c2 = \beta_1 * OC + \beta_2 * DQ$	β_1	0.052	0.009	2.847	0.520
	β_2	0.068	0.004		
(8) $c1 = \beta_1 * DQ$	β_1	0.013	0.0008	0.595	0.380

En el modelo 1 cantidad de hojarasca, se tienen errores estándar cercanos a cero y los estadísticos de ajuste arrojan una R² de 0.761 lo que indica que hay una buena correlación entre la hojarasca y las variables dependientes. En el modelo 2 carga total de combustibles de igual manera nos arroja errores estándar cercanos a cero, con una R² de 0.683. Los resultados manifiestan que ambos modelos arrojan datos estadísticamente confiables aun y cuando difieren en el número de parámetros estimados.

Por otro lado los modelos demuestran que los factores principales de la concentración de los combustibles forestales están en función de los desperdicios generados durante los tratamientos de cortas, y por las existencias reales totales, tal como lo expone en su trabajo (Rentería y otros 2005).

De acuerdo con los resultados obtenidos, las variables intensidad de corta, existencias reales totales y profundidad de hojarasca, pueden ser usadas de manera confiable en el cálculo de carga de combustible, no obstante su clasificación se dificulta en términos de dimensiones (ligeros, medianos y pesados) y lugar en que se

encuentren (terrestres, superficiales y aéreos). Para Flores y Omi, (2003), su estimación constituye una estrategia útil para identificar las áreas con mayor susceptibilidad de ocurrencia de incendios forestales, y de esta manera dirigir estrategias de prevención, control y combate de estos. Esto es coincidente con Estrada y Ángeles (2007), quienes mencionan que los valores obtenidos durante cualquier evaluación de combustibles forestales pueden servir como base para la elaboración de mapas de riesgo de incendio forestal al conjugar otros parámetros. Adicionalmente mediante este método no es necesaria la realización de un inventario de combustibles forestales que requiere tiempo, trabajo y financiamiento. Los datos de combustibles se podrán actualizar a la vez que se actualice el inventario forestal.

Conclusión

La carga de combustibles muertos se puede calcular a partir de combustibles vivos mediante técnicas estadísticamente sustentadas de correlación de datos dasométricos. En el presente trabajo las variables que mejor explicaron a los modelos fueron: intensidad de corta, existencias reales totales y profundidad de hojarasca. Se determinó que este método de correlación constituye una herramienta rápida, viable y eficiente puesto que las variables dependientes se toman a partir de datos de inventario ya existentes. Así mismo puede constituir una herramienta en el modelado de peligro de incendios, regímenes y estrategias de manejo del fuego.

Agradecimientos

Se agradece a la responsiva técnica, al Ejido pueblo Nuevo por la disposición de información para la realización del presente trabajo. Así mismo, se agradecen las observaciones y sugerencias al manuscrito original al Dr. Dante A. Rodríguez.

Referencias

- Brown, J. 1974.** *Handbook for inventorying downed woody material*. USDA Forest Service. General Technical Report INT – 16. Utah, USA. 24 p.
- Estrada, I.; Ángeles, E.R. 2007.** Evaluación de combustibles forestales en el parque nacional El Chico Hidalgo Sevilla España. Wildfire. 1-19 p.
- Flores, J.G.; Omi, P. N. 2003.** Mapping forest fuels for spatial fire behavior simulation using geomatic strategies. Agrociencia. Colegio de postgraduados. 37(001): 65-72.
- Meraz, R. 1998.** Programa de manejo forestal ciclo de corta 1997-2007. Servicio Técnicos Forestales del Ejido Forestal Pueblo Nuevo. 215 p.
- Pompa, M. 2012.** Sistema de información geográfica de los ecosistemas de Durango. Disponible en <http://www.ujed.mx/sigeed/Inicio.aspx>. Consultado el 17 de febrero de 2012.

- Rentería, J.B.; Treviño E.J.; Návar, J. de J.; Aguirre, O.A.; Cantú, I.** 2005. Caracterización de combustibles leñosos en el Ejido Pueblo Nuevo, Durango. Revista Chapingo. Universidad autónoma Chapingo 11(001): 51-56.
- Wong, J.C.; Villers, M.L.** 2007. Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el parque nacional la Malinche. Universidad Nacional Autónoma.

Aproximación Metodológica Para la Evaluación del Impacto Económico de los Incendios Forestales, Mediante el Uso de Teledetección Espacial, Aplicación Mediante el Uso de Imágenes Modis¹

Francisco Rodríguez y Silva¹, Juan Ramón Molina Martínez², y Miguel Castillo Soto²

Resumen

La evaluación de las áreas afectadas por impacto de los incendios forestales, requiere de estudios completos que cubren una amplia gama de análisis. Desde el punto de vista económico, es realmente importante disponer de la evaluación en términos monetarios de la superficie afectada. La determinación del grado de pérdida en el valor de los recursos naturales, tanto de los que ostenta un carácter tangible, como los caracterizado como intangibles, permite llegar a conocer el valor residual remanente tras el paso del incendio, es decir, posibilita la determinación del “cambio neto en el valor de los recursos”. Si bien la importancia del análisis económico, es indiscutible en el proceso de planificación de las diferentes acciones de restauración postfuego, la determinación del cambio neto en el valor de los recursos, se vuelve compleja cuando las dimensiones de la superficie afectada, hace inviable el levantamiento de la información, en parte por los costes que puede llegar a generar la captura de la información y en parte por el tiempo que transcurrirá sin disponer la valoración final. Cuando se dispone del conjunto de algoritmos que permite la valoración inicial y la correspondiente depreciación por impacto del incendio de los recursos existentes, la evaluación puede ser realizada de inmediato con la ayuda de un sistema de información geográfico y de la correspondiente “matriz de depreciación por impacto del fuego” La posibilidad de incorporar el tratamiento de imágenes de satélite, a la evaluación económica de los daños y perjuicios, brinda la oportunidad de identificar con mayor precisión la delimitación de las áreas afectadas en función del “índice normalizado de vegetación”. El análisis e interpretación de imágenes MODIS, de forma combinada con la intensidad

¹ Una versión abreviada de este manuscrito fue presentado en el IV Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación, y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático Incendios Forestales, 5-11 noviembre 2012, Ciudad de México, México.

² Profesor y Director del Laboratorio de Defensa contra Incendios Forestales. Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes. Universidad de Córdoba, Edificio Leonardo da Vinci. Campus de Rabanales. 14071 Córdoba España. Correo electrónico: ir1rosif@gmail.com.

² Profesor, Laboratorio de Incendios Forestales. Departamento de Manejo de los Recursos Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago. Chile

energética emitida por la propagación del fuego, puede ser integrada en modelos econométricos con el fin de obtener de manera referenciada geográficamente, el valor económico por hectárea resultado de la afectación por incendio forestal. En el presente trabajo se detalla la metodología seguida, así como resultados obtenidos y validados en un conjunto de incendios forestales acaecidos en diferentes áreas geográficas.

Palabras clave: índices vegetación, ratio de depreciación, vulnerabilidad económica

Introducción

Los incendios forestales constituyen unos de los mayores problemas medioambientales (Moyano y Jiménez 2005). A pesar de que el fuego ha sido utilizado de antaño en la roturación agrícola y la creación de pastizales con el fin del aprovechamiento ganadero (Kenneth 1962), los cambios socioeconómicos han conducido a un abandono de los aprovechamientos tradicionales. Este abandono se traduce en una mayor acumulación de matorral (Pérez 1990; Rodríguez y Silva y Molina 2010). Circunstancia que acompañada de la acentuación de las condiciones climatológicas (Piñol y otros 1998), han provocado un incremento en la virulencia de los incendios forestales, y en consecuencia, un aumento de los daños provocados por el fuego sobre los recursos naturales y el medio circundante.

Las valoraciones de los recursos naturales tienden a minorizar el valor real del bosque (Constanza y otros 1997). A diferencia de la actividad económica tradicional, el medio forestal se caracteriza por la extraordinaria relevancia de las externalidades que comportan perjuicios o beneficios a terceros de considerable magnitud. Desde el punto de vista socioeconómico, es necesario plasmar todos los recursos naturales en términos monetarios. La valoración de daños y perjuicios provocados por los incendios forestales requiere del estudio individualizado de cada uno de los recursos (tangibles e intangibles) y el cambio del valor neto de los mismos en relación a la severidad del fuego y a la resiliencia del ecosistema (Molina y otros 2009).

El reconocimiento y valoración de los recursos naturales es fundamental para la planificación espacio-temporal de las labores preventivas y de restauración post-fuego (Molina 2008). La incorporación del concepto de vulnerabilidad extiende el estudio más allá de un trabajo de valoración económica, integrando dos conceptos, por un lado el valor del recurso y por otro el comportamiento del fuego. La integración de ambos conceptos se realiza mediante una matriz de ratios de depreciación en base a la intensidad de las llamas, denominada “matriz de depreciación” (Molina y otros 2011; Rodríguez y Silva y otros 2012).

Numerosos estudios han señalado el potencial de la teledetección en el campo de los incendios forestales (Chuvieco y otros 2005). La incorporación de imágenes de

satélite a la evaluación económica proporciona de forma novedosa, una herramienta de indudable interés para la identificación de forma precisa del área afectada por las llamas. La ventaja del uso imágenes de satélite MODIS, radica en la disponibilidad de información a tiempo prácticamente real y a coste cero. La diferencia entre el valor de los índices de vegetación antes y después del paso de las llamas puede ser integrada de forma geo-referenciada con la intensidad energética emitida por las llamas, obteniéndose de forma indirecta las pérdidas económicas por unidad de superficie (Rodríguez y Silva y otros 2009).

El modelo de vulnerabilidad socioeconómica se ha realizado mediante la configuración de un algoritmo matemático asociado a un Sistema de Información Geográfico (SIG) facilitando la elaboración de cartografía de seguimiento espacio-temporal, tanto a nivel de recurso individual como a nivel de la vulnerabilidad integral del ecosistema. La automatización del cálculo y gestión mediante SIG se está realizando bajo el marco del proyecto INFOCOPAS (RTA2009-00153-C03-03) financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), a fin de alcanzar de forma versátil un conocimiento geo-referenciado a tiempo prácticamente real de la vulnerabilidad del sistema forestal frente a incendios forestales.

Metodología

La evaluación económica de los daños provocados por el paso de las llamas mediante imágenes MODIS ha sido realizada para 5 grandes incendios ocurridos en Andalucía: Aldequemada (2004), Minas de Río Tinto (2004), Alajar (2006), Cerro Catena (2009) y Cerro Vértice (2011). Este grupo de incendios proporciona un amplio abanico de ecosistemas forestales y niveles de afectación. La evaluación del impacto económico de un gran incendio forestal requiere de las siguientes fases de análisis y desarrollo:

- a) Valoración económica de los recursos naturales
- b) Identificación espacial de los diferentes niveles de afectación
- c) Identificación del cambio neto en el valor de los recursos
- d) Valoración económica de los daños y perjuicios ocasionados por el paso del fuego

Valoración económica de los recursos naturales

La valoración económica de los recursos naturales debe incorporar tres tipos de recursos: recursos tangibles, servicios ambientales y bienes paisajísticos. La valoración de los recursos tangibles incluye productos madereros y productos no madereros. El procedimiento metodológico para la valoración del impacto sobre el

recurso maderero se basa en un algoritmo integrador de las herramientas de valoración, que incluyen tanto la procedencia de origen natural como artificial del arbolado (Rodríguez y Silva y otros 2012). La valoración de los recursos no madereros se fundamenta en las expresiones del Manual de Valoración de Pérdidas y Estimación del Impacto Ambiental por Incendios Forestales (Martínez Ruíz 2000). La evaluación del impacto sobre el recurso cinegético se realizará a través de la adaptación propuesta en Zamora y otros 2010.

La valoración de los servicios ambientales incluye tres recursos: fijación de carbono, control erosivo y biodiversidad faunística. La valoración de la fijación de carbono comprende tanto la cantidad fijada en el momento del incendio como la cantidad sin fijar a partir de dicho momento, y en consecuencia, requiere del volumen con corteza, biomasa aérea e incremento anual (Tabla 1). La cantidad de carbono correspondiente a la biomasa seca se estima en el 50%. El control de la erosión será expresado en renta económica pérdida en base a la cantidad potencial de suelo perdido por unidad de superficie. La expresión utilizada para la valoración (Tabla 1) incorpora un sumando en relación con las pérdidas sufridas durante las primeras lluvias (suelo desnudo) y un segundo sumando que incluye las pérdidas de suelo progresivas hasta la recuperación de una vegetación con similar protección a la quemada (Molina y otros 2009). La valoración de la biodiversidad faunística o de especies singulares se realiza mediante el coste de los programas de recuperación de las especies, o en caso de no disponer de programa específico, mediante el método de la valoración contingente (Molina 2008).

Identificación espacial de los diferentes niveles de afectación

A modo de ejemplo, en este trabajo se aborda la aplicación metodológica para el incendio de Cerro Catena. Este incendio afectó más de 200 ha, principalmente de bosques de *Pinus pinaster* con un sotobosque semi-denso dominado por *Rosmarinus officinalis* y *Juniperus oxycedrus*. La topografía es abrupta con un desnivel de 960 a 1200 msnm, favoreciendo ello, la propagación virulenta de las llamas. El incendio se originó bajo la influencia meteorológica caracterizada por una temperatura de 26°C, una humedad relativa de 16% y una velocidad del viento de 12,5 km/h.

La identificación espacial de los diferentes niveles de afectación se realizó utilizando imágenes MODIS, (Terra y Aqua), para una fecha previa (6 de septiembre) y posterior al incendio (22 de septiembre). Para ambas fechas se adquirieron las imágenes del Servidor LP DAAC del USGS (https://lpdaac.usgs.gov/get_data/data_pool) administrado por la NASA. La preparación de las imágenes requirió de la transformación de Datum Sinusoidal (original de las imágenes) al sistema European Datum 1950 Zona 30N, efectuando la

sobreposición de las imágenes con el perímetro del incendio en formato vectorial.

Tabla 1—Formulaciones matemáticas utilizadas para la valoración económica

Recurso	Fórmula	Estado del recurso	Fuente
Maderero	$V_{mad} = (1,7 * E * B) / (E + 0,85 * B)$	Maduro e inmaduro	Rodríguez y Silva y otros 2012
	$E = C_0 * p [i^e + g(i^e - 1)] + A * (i^e - 1)$	Inmaduro	
	$E = (C_{0/z} * t [i^e + g(i^e - 1)] + (C_0/z) * 0,5 * (i^e - 1)$	Latizal	
	$E = [P * V - P_1 * V_1] + P * V [(i^{(T-e)} - 1) / (i^{(T-e)})]$	Fustal	
	$B = [(V * P * 1,025^n) / 1,04^n] * [1 - (1,025 / 1,04)^e] * [1 + X * h * p]$	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	$V_{carb} = CF * PM + IF * PM * RC * [((1+i)^{T-e} - 1) / (i * (1+i)^{T-e})]$	Masa arbolada	Molina 2008; Molina y otros 2009
Control de la erosión	$V_{eros} = R_1 * P_1 + R_2 * P_2 [((1+i)^n - 1) / (i * (1+i)^n)]$	-	
Biodiversidad faunística; Recurso paisajístico; Recurso ocio y recreo; Recurso no uso	$V_{biod/pai/oci/nouso} = R_x * [((1+i)^n - 1) / (i * (1+i)^n)]$	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 m³/ha, “P” es el precio del m³ 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 autorregenerativo en función del turno, “P₁” es el precio de la madera dañada con aprovechamiento comercial (€/m³), “V₁” es el volumen de madera dañada con aprovechamiento (m³/ha), “P_x” es el precio por unidad de medida

del recurso (€), “Rx” es la renta anual por unidad de superficie, “S” es el stock reproductivo por unidad de superficie (€), “CF” es la cantidad de CO₂ retenida en el momento del incendio (t/ha), “PM” es el precio de la tonelada fijada (€/t), “IF” es el incremento anual de CO₂ retenido (t/ha), “RC” es la renta generada al fijar una tonelada de carbono en un año (€), “R₁” es la cantidad de suelo media perdida el primer año (t/ha), “P₁” es el precio estimado para la tonelada (€), “R₂” es la cantidad de suelo media perdida hasta la recuperación de la cobertura original (t/ha).

Posteriormente, se identificaron las bandas necesarias para el análisis espacial. Tanto para la plataforma Terra como para Aqua, las reflectividades de las bandas utilizadas se localizan en el espectro de los 620-670nm (rojo) para la banda 1, y 841-876nm (infrarrojo cercano) para la banda 2. En el caso de las imágenes con resolución de 500 metros, la banda 7 utilizada osciló entre 210-215nm. La geo-referenciación y ajuste al perímetro final del incendio se realizó con el software ArcGIS®, conservando un buffer de tolerancia de 150 metros con objeto de poder incluir el efecto de la vecindad al área quemada. Se efectuó un ajuste en el tamaño de las celdillas, con el fin de compatibilizar las bandas 1,2 y 7 para el cálculo de los índices de vegetación. Para obtener mayor detalle en la expresión gráfica de los resultados, se definieron "celdillas" de 0,0625 ha (25x25 metros).

Los índices de vegetación utilizados fueron el *NDVI*, *NBR*, *DNBR* y *RdNBR*. El cálculo de estos índices mediante MODIS requiere del infrarrojo medio (banda 7) y el infrarrojo cercano (banda 2). La banda 7 de MODIS se utilizó por su capacidad intrínseca de representación de la humedad de los combustibles. A continuación se incluyen las formulaciones de los diferentes índices:

$$\rho_{i,NIR} + \rho_{i,R}$$

$$\rho_{i,WIR} + \rho_{i,NIR}$$

donde $\rho_{i,NIR}$ es la reflectividad del píxel i en la banda del infrarrojo cercano y $\rho_{i,R}$ es la reflectividad del píxel i en la banda del rojo

En ambos índices el rango de valores fluctúa entre -1 y 1. El grado de afectación de cada "celdilla" fue estimado mediante las diferencias en los valores de los índices de vegetación previos y posteriores al paso del fuego:

$$D-NDVI = NDVI_{pre-fuego} - NDVI_{post-fuego}$$

$$DNBR = NBR_{pre-fuego} - NBR_{post-fuego}$$

Un tercer indicador fue considerado para el estudio, y que corresponde a una normalización del NBR, con el propósito de eliminar la correlación existente entre el resultado del cociente y el valor *NBR* pre-fuego. Para ello se aplicó el siguiente ajuste a las imágenes:

$$\sqrt{\text{Abs}} \quad (\text{NBR}_{pre} - \text{fuego}) / 1000$$

Identificación del cambio neto en el valor de los recursos

La determinación de las pérdidas en los recursos naturales, tanto tangibles como intangibles, requiere conocer el valor remanente de los recursos, es decir, el "cambio neto en el valor de los recursos". Este concepto requiere de la incorporación de la depreciación de los recursos en base al nivel de intensidad del fuego. La asignación de la depreciación de cada recurso en función del nivel de intensidad del fuego se realiza en base a ratios de depreciación o niveles porcentuales, dada su mayor sencillez y aplicabilidad práctica.

En el caso del recurso maderero y del aprovechamiento de leñas, y bajo el marco de los proyectos de investigación FIREMAP, SINAMI e INFOCOPAS, se tomaron parcelas circulares de 10 m de radio para diferentes tipologías vegetales y grados de afectación en los siguientes incendios: Huetor (1993), Aznacollar (1995), Estepona (1995), Los Barrios (1997), Cazorla (2001,2005), Aldeaquemada (2004), Minas de Río Tinto (2004), Alajar (2006), Gaucin (2006), Obejo (2007), Orcera (2009) y Cerro Vértice (2011). En el caso de la valoración de las pérdidas sobre el recurso cinegético se utilizó información del Parque Nacional de Monfragüe y de los incendios de Aldeaquemada y Minas de Río Tinto (Zamora et al. 2010), con el fin de disponer de un análisis no sólo espacial sino también temporal, de la recuperación natural del stock reproductor, y en consecuencia, de las rentas anuales generadas por el recurso.

Los niveles de depreciación de los recursos de fijación de carbono y de control de la erosión fueron estimados en base a la mortalidad del arbolado y al nivel de consumo de la biomasa aérea de Cerro Catena, a partir de mediciones efectuadas en árboles quemados y no quemados, con similares características dendrométricas. La valoración económica de los daños erosivos, o conversión de biomasa pérdida a unidades monetarias, se determinó en base al estudio realizado en el incendio de Obejo (2007), donde se analizaron los costes asociados a la pérdida de diferentes cantidades de suelo (toneladas por hectárea). En el caso de la biodiversidad, la valoración de daños se realiza en base al "valor subrogado" del gobierno (programas de recuperación y/o conservación) o al valor concedido por la población (valoración contingente). Los valores obtenidos para este recurso incluyen ajustes en base a los costes post-fuego invertidos por las administraciones responsables, para evitar la huida y migración de las especies mediante medidas de suplementación de alimento, eliminación de depredadores, reducción de competencia, (Molina 2008).

Los ratios de depreciación de los bienes paisajísticos son muy complicados de

validar. Los proyectos de investigación, anteriormente señalados, estiman los ratios de depreciación para estos bienes mediante la técnica de preferencias sociales o la valoración mediante técnicas indirectas de percepción del paisaje por comparación entre un territorio pre y post-quemado. El uso paisajístico se ve afectado en mayor medida que las actividades de ocio y recreo. Los grandes incendios forestales acontecidos en el Parque Natural de Cazorla, Segura y Las Villas (espacio en el que sucedió el incendio de Cerro Catena), proporcionaron una buena base para realizar aproximaciones cuantitativas sobre el impacto en los bienes paisajísticos. Así se puede indicar que el incendio del año 2005 supuso un descenso del 40% en el número de turistas y la paralización de numerosos proyectos empresariales para la remodelación y ampliación de instalaciones recreativas.

Valoración económica de los daños y perjuicios ocasionados por el paso del fuego

El empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite la identificación de la tipología vegetal y su valoración económica, así como la disponibilidad de información al respecto del comportamiento del fuego. En función de éste, se estima a modo individual para cada recurso su ratio de depreciación. La integración de ambos conceptos aporta la vulnerabilidad económica de cada recurso presente en el área quemada. La valoración económica de daños y perjuicios es el sumatorio de las vulnerabilidades de los recursos presentes en el área quemada.

Resultados

Valoración económica de los recursos naturales

Los resultados analíticos del incendio de Cerro Catena señalaron al recurso de no uso como el de mayor importancia (217.865 €) (Tabla 2). Dado el carácter natural de las masas de *P.pinaster* afectadas, y su longevidad (superior a los 100 años en algunos rodales), el recurso maderero también alcanzó un gran valor (194.093,17 €). El tercer recurso en orden de importancia fue la fijación de carbono, dada la gran cantidad de biomasa aérea de los bosques afectados (69.137,71 €).

Tabla 2—*Valoración económica de los recursos de “Cerro Catena”*

Recurso	Valoración (€)	Representatividad (%)
<i>Maderero</i>	194.093,17	29,35
<i>Aprovechamiento leñas</i>	60.771,17	9,19
<i>Cinegético</i>	8.704,35	1,32
<i>Fijación de carbono</i>	69.137,71	10,45
<i>Control erosión</i>	21.973	3,32

<i>Biodiversidad</i>	6.820,79	1,03
<i>Paisaje</i>	27.277	4,12
<i>Ocio y Recreo</i>	54.686	8,27
<i>No uso</i>	217.865	32,94
<i>TOTAL</i>	661.328,19	100

El valor total de los recursos de los montes afectados por el incendio fue de 661.328,19 €, lo que representa en términos de afectación económica por unidad de superficie un valor de 3164,25 €/ha. Los bienes paisajísticos (recurso paisaje, ocio y recreo y no uso) supusieron el 45,33% del valor de los montes afectados, seguidos por los recursos tangibles (maderero, aprovechamiento de leñas y cinegético) los cuales constituyeron el 39,85%.

Valoración económica de los recursos naturales

Se realizó una reconstrucción “in-situ” del comportamiento potencial del fuego, identificando para cada píxel su longitud de llama promedio (directamente relacionada con la intensidad lineal del frente de avance). Se identificaron cuatro niveles de intensidad del fuego (Tabla 3):

- o Grado de afectación I. Se corresponde con un Nivel de Intensidad del Fuego (NIF) VI o longitud de llama superior a 12 m. Área muy afectada. Incendio continuo de copas, de gran virulencia y consumición del material aéreo. El suelo ha quedado prácticamente desnudo.
- o Grado de afectación II. Se corresponde con un Nivel de Intensidad del Fuego (NIF) IV o longitud de llama entre 6-9 m. Área afectada en grado moderado. Incendio pasivo de copas con alguna carrera de copas. El suelo queda desprotegido por bosquetes en base a la intensidad, existe prácticamente un consumo total del combustible superficial.
- o Grado de afectación III. Se corresponde con un Nivel de Intensidad del Fuego (NIF) III o longitud de llama entre 3-6 m. Área medianamente afectada. Incendio de superficie con consumo de material superficial. El fuego avanza a favor de pendiente pero no de viento. Existen árboles entorchados aislados.
- o Grado de afectación IV. Se corresponde con un Nivel de Intensidad del Fuego (NIF) II o longitud de llama entre 2-3 m. Área poco afectada. Incendio de superficie con consumo de material superficial. El fuego avanza de recula, sin pendiente ni viento a favor.

Tabla 3—Representación de los diferentes Grados de Afectación en “Cerro Catena”

Grado de Afectación	Píxeles *	Superficie (ha)	Superficie (%)
I	398	25	12
II	946	59	28
III	356	22	11
IV	1644	103	49

* celdillas de 25 x 25 metros, definidas para todos los niveles de información, a partir de resoluciones de 250 y 500 metros.

Tras el análisis, el comportamiento observado de los índices NDVI, NBR, DNBR, y RdNBR, en lo relativo a la identificación de los cuatro Niveles de Intensidad del Fuego (Figura 1) fue heterogéneo. Por lo general, se obtuvieron mejores resultados con el NBR que con el NDVI, pues permitió una mejor discriminación y contraste de la severidad post incendio. El indicador RdNBR permitió eliminar la correlación existente entre el resultado del cociente y el valor NBR pre-fuego.

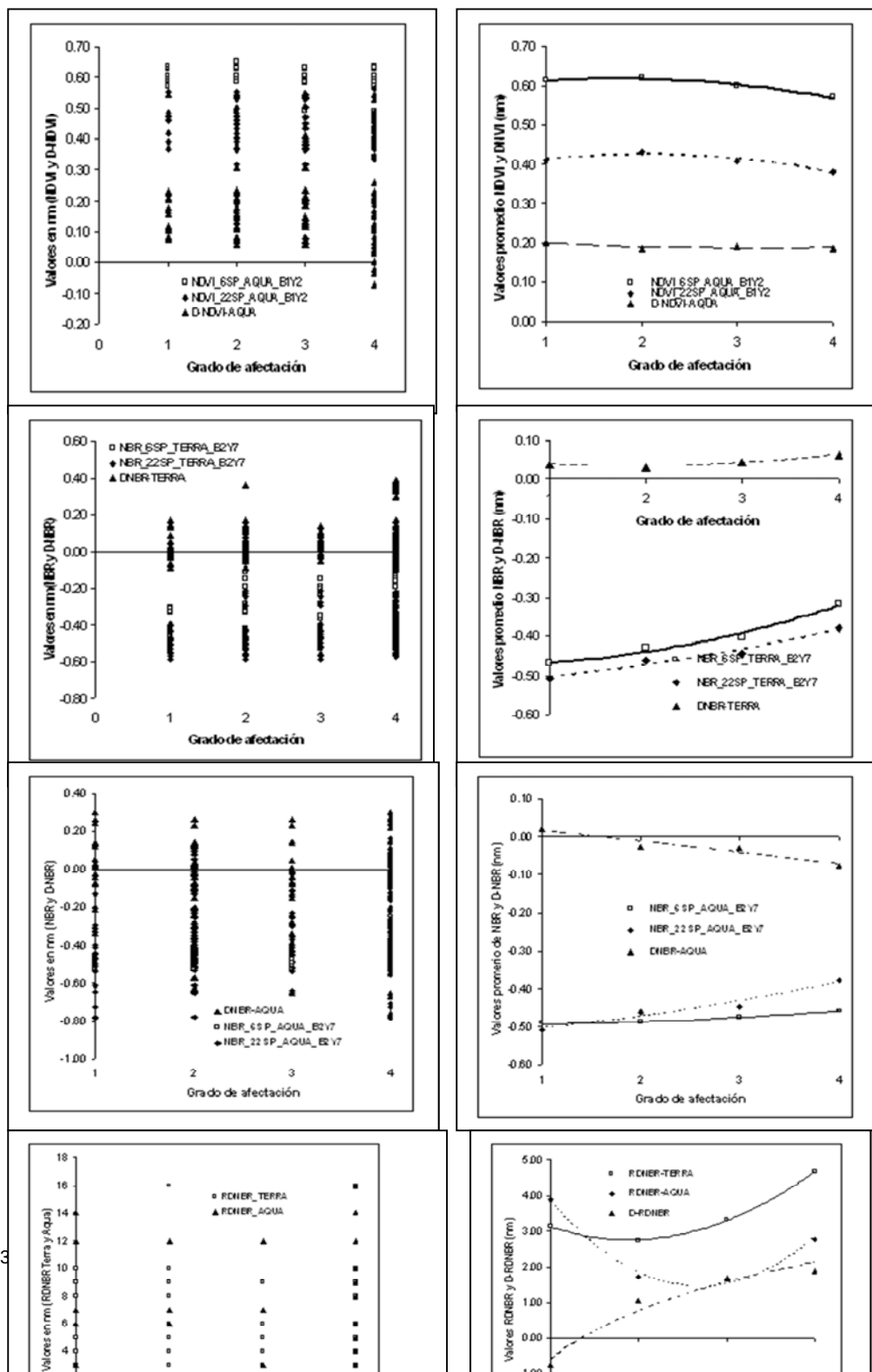


Figura 1—Valores de los diferentes índices para los días 6 y 22 de septiembre (izquierda); promedios para ambas mediciones (derecha).

Identificación del cambio neto en el valor de los recursos

A partir de las experiencias recogidas en grandes incendios forestales acontecidos en Andalucía durante el período 1993-2011 y los resultados científicos de los proyectos de investigación FIREMAP, SINAMI e INFOCOPAS se elaboró la matriz de depreciación (Figura 2).

Esta matriz fue ajustada con el índice de vegetación de mayor correlación a semejanza de otros estudios (Rodríguez y Silva y otros 2009), con objeto de encontrar una ecuación para cada recurso que proporcione el ratio de depreciación tal que, aplicado sobre el valor socioeconómico inicial, proporcione tanto las pérdidas ocasionadas por el incendio forestal como el valor económico residual de la vegetación no afectada por el fuego. En la Tabla 4 aparecen los modelos obtenidos para cada recurso:

NIF	Vrm	Vrle	Vrci	Vrca	Vrer	Vrbi	Vrpa	Vroc	Vrno
I	8,33%	5%	20%	10%	10%	20%	5%	2%	4%
II	16,65%	10%	45%	25%	25%	40%	25%	20%	19%
III	38,58%	20%	65%	45%	45%	60%	60%	55%	46%
IV	57,85%	45%	85%	65%	65%	80%	80%	65%	54%
V	82,79%	65%	95%	85%	85%	100%	90%	85%	69%
VI	89,41%	75%	100%	100%	100%	100%	100%	85%	69%

Figura 2—Matriz de depreciación (“Vrm”, depreciación recurso maderero (Rodríguez y Silva y otros 2012); “Vrle”, depreciación aprovechamiento leñas; “Vrci”, depreciación recurso cinegético; “Vrca”, depreciación recurso carbono; “Vrer”, depreciación del control erosivo; “Vrbi”, depreciación de la biodiversidad faunística; “Vrpa”, depreciación del recurso paisaje; “Vroc”, depreciación del recurso de ocio y recreo; “Vrno”, depreciación del recurso de no uso).

Tabla 4—Modelos de correlación entre el ratio de depreciación de cada recurso y el RDNBR

Recurso	Modelo	R ² (%)
Maderero	$y = -11,219x^2 - 13,105x + 85,746$	97,95
Aprovechamiento leñas	$y = -10,178x^2 - 13,066x + 69,997$	99,81
Cinegético	$y = -14,244x^2 - 3,3187x + 105,54$	97,88
Fijación de carbono	$y = -10,027x^2 - 15,545x + 93,826$	98,62
Control erosión	$y = -10,027x^2 - 15,545x + 93,826$	98,62
Biodiversidad	$y = -13,19x^2 - 6,3753x + 102,61$	98,11
Paisaje	$y = -19,406x^2 - 3,2702x + 108,36$	93,39
Ocio y recreo	$y = -14,846x^2 - 4,1257x + 90,027$	87,29
No uso	$y = -11,673x^2 - 2,8962x + 73,225$	87,43

“y” es el ratio de depreciación (%) y “x” el valor del índice de vegetación RDNBR

Valoración económica de los daños y perjuicios ocasionados por el paso del fuego

La vulnerabilidad económica para el caso del incendio de Monte Catena, fue alta, evaluada en 262.687,99 €, lo que se corresponde con un valor unitario en relación con la superficie afectada de 1.256,88 €/ha. De esta cantidad, el impacto de las llamas sobre los bienes paisajísticos (recurso paisaje, ocio y recreo y no uso) constituyó el 45,08% del total de los daños y perjuicios provocados por el incendio forestal. Por su parte, el impacto sobre los recursos tangibles (recurso maderero, aprovechamiento de leñas y cinegético) sólo constituyó el 37,11% de los daños económicos.

Tabla 5—Vulnerabilidad económica de los recursos de “Cerro Catena”

Recurso	Valoración (€)	Representatividad (%)
<i>Maderero</i>	75.270,43	28,65
<i>Aprovechamiento leñas</i>	16.788,16	6,39
<i>Cinegético</i>	5.427,43	2,07
<i>Fijación de carbono</i>	32.679,01	12,44
<i>Control erosión</i>	10.052,00	3,83
<i>Biodiversidad</i>	4.042,37	1,54
<i>Paisaje</i>	13.792,25	5,25
<i>Ocio y Recreo</i>	22.933,50	8,73
<i>No uso</i>	81.702,84	31,10
TOTAL	262.687,99	100

Discusión

Las valoraciones integrales de los daños y perjuicios por incendios forestales arrojan resultados sorprendentes. No en vano, los recursos tangibles sólo representan una parte del total de los impactos económicos sobre las áreas quemadas (Molina 2008; Molina y otros 2009). En el caso del incendio de “Cerro Catena”, su localización estratégica dentro de un Parque Natural de gran afluencia turística le confiere gran

importancia a los bienes paisajísticos. A pesar de que se trata de montes sin infraestructura de ocio y recreo, no implica su posibilidad de uso futuro, valor de no uso. En este sentido y tal como recomiendan otros autores (Borchet y otros 2003; Vélez 2009; Rodríguez y Silva y González-Cabán 2010; Molina y otros 2011), 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.

La ordenación de los montes de la zona de estudio ha perdido el objetivo primario de antaño, la producción de madera, y el secundario, la producción de resina. Su gestión debe fundamentarse en la multifuncionalidad, con alta incidencia en la conservación y puesta en uso del paisaje. La fijación de carbono representa recurso de alta potencialidad en la búsqueda de eficiencia económica. Además, la ocurrencia de un incendio forestal no sólo supone la pérdida de la capacidad de fijación de los montes sino también una gran cantidad de emisiones a la atmósfera. La utilización del criterio de vulnerabilidad en contra de valoración responde a la necesidad de una herramienta de gestión que incorpore la incidencia de la mayor perturbación mediterránea, los incendios forestales, en la priorización de actuaciones o elaboración de índices de riesgo (Rodríguez y Silva y otros 2009). La clasificación de las unidades monetarias en índices cualitativos de la gravedad potencial que el impacto de un incendio potencial podría ocasionar en un área, facilita la conexión o integración del aspecto socioeconómico con otros parámetros o factores, con objeto de la creación de un índice global de riesgo y/o peligro (Chuvieco y otros 2010).

La identificación del nivel de afectación o intensidad del fuego mediante imágenes de satélite con apoyo de un inventario de campo facilita la extrapolación de la información de campo al conjunto de la superficie quemada. En este sentido, MODIS, por su libre acceso a la plataforma de descarga, su periodicidad y efectividad se presenta como un efectivo medio de apoyo. Tal como han demostrado otros estudios (Chuvieco y otros 2005), el índice normalizado de vegetación no se presenta como el mejor identificador del área quemada. Sin embargo, los resultados alcanzados mediante RDNBR permiten obtener buenas ecuaciones de regresión de alta fiabilidad estadística, que proporcionan las pérdidas ocasionados por el incendio forestal en función de ratios de depreciación (Rodríguez y Silva y otros 2009). Las diferencias encontradas en el ratio de depreciación de unos u otros recursos (Molina 2008; Molina y otros 2009, 2011; Zamora y otros 2010; Rodríguez y Silva y otros 2012) determinan la necesidad de obtener una ecuación por recurso.

Conclusiones

El reconocimiento o valoración de los ecosistemas forestales es fundamental para la planificación espacio-temporal de los gestores en materia de incendios forestales. La

importancia de disponer de un modelo evaluador de los impactos socioeconómicos abarca un amplio rango de posibilidades, facilitando las labores de prevención, valoración y restauración post-incendio, y en consecuencia, la toma de decisiones.

La creciente demanda de cartografía temática por parte de las administraciones con responsabilidades en la gestión está implicando un desarrollo de herramientas y productos basados en teledetección y sistemas de información geográfica. Dada las restricciones económicas actuales, el empleo de una herramienta geo-referenciada con actualizaciones periódicas gratuitas (imágenes MODIS) permite la inclusión de modificaciones, mejoras y adaptaciones temporales o espaciales según las necesidades de los gestores.

Referencias

- Borchert, M.; Johnson, M.; Schreiner, D.; Vander, W.S.** 2003. Early postfire seed dispersal, seedling establishment and seedling mortality of *Pins coulteri* (D.Don) in central coastal California, USA. *Plant Ecology* 168(2), 207-220.
- 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.
- 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.
- 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.
- Kenneth, O.** 1962. On man's use of fire, with comments on tool making and hunting. Social life of early man. Wenner-Gren foundation for anthropological research, New York.
- Martínez, Ruiz E.** 2000. Manual de Valoración de Montes y Aprovechamientos Forestales. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- 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 and Economics* 13: 614-621.
- Molina, J.R.; Rodríguez y Silva, F.; Herrera, M.A.; Zamora, R.** 2009. A simulation tool for socio-economic planning on forest fire supression management. Libro Forest Fires: Detection, Supresión and Prevention. Nova Science Publishers. USA.
- Molina, J.R.** 2008. Integración de herramientas para la modelización preventiva y socioeconómica del paisaje forestal frente a los incendios en relación con el cambio climático. Tesis Doctoral.
- Moyano, E.; Jiménez, M.** 2005. Los andaluces y el medio ambiente. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

- Pérez, M.R.** 1990. Development of Mediterranean agriculture: an ecological approach. *Landscape Urban Planning* 18: 211–220.
- Piñol, J.; Terradas, J.; Lloret, F.** 1998. Climate Warming, Wildfire Hazard, and Wildfire Occurrence in Coastal Eastern Spain. *Climatic Change* 38(3): 1480-1573.
- 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.; 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.** 2010. Manual Técnico para la Modelización de la Combustibilidad asociada a los Ecosistemas forestales Mediterráneos. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. Córdoba. España.
- Rodríguez y Silva, F.; Molina, J.R.; Herrera, M.A.; Zamora, R.** 2009. The impact of fire and the socioeconomic vulnerability of forest ecosystems: A methodological approach using remote sensing and geographical information systems. General Technical Report PSW-GTR-227. Pacific Southwest Research Station. Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 151 - 168.
- Vélez, R.** 2009. La Defensa contra incendios forestales. Fundamentos y Experiencias. McGraw-Hill, Madrid.
- Zamora, R.; Molina, J.R.; Herrera, M.A.; Rodríguez y Silva, F.** 2010. A model for wildfire prevention planning in game resources. *Ecological Modeling* 221: 19-26.

Evaluación de la Diversidad Estructural Post-Incendio Usando Parámetros de Vecindad en la Sierra Madre Oriental, México¹

Diana Yemilet Avila Flores², Marco Aurelio González Tagle², Javier Jiménez Pérez², Oscar Aguirre Calderón², y Eduardo Treviño Garza²

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue caracterizar los patrones de la estructura espacial de un bosque de *Pinus hartwegii* en la Sierra Madre Oriental, que fue afectado por un incendio en 1998. El muestreo fue estratificado, basado en función de la severidad del fuego. Se definieron tres clases de severidad de incendio (bajo, medio y alto). Tres parcelas de muestreo de 40m x 40m se establecieron por severidad. Las variables obtenidas para todos los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 5 cm en cada parcela fueron: DAP (cm) a 1.30 m, altura total (m), ubicación espacial mediante el registro de azimuth (°) y la distancia (m) del centro de la parcela a cada árbol. Para la descripción de la estructura tres grupos de índices fueron utilizados: “agregación” (W_i y D_i), “dominancia” (U_i) y diferenciación dimensional (TD_i y TH_i). El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas ($p > 0.001$) para los parámetros dasométricos entre las severidades baja con respecto a las severidades media y alta; estas dos últimas severidades no presentaron diferencias significativas entre sí. Los resultados de la caracterización de la estructura sugieren que al incrementarse el grado de severidad del incendio, se incrementa el grado de agregación y la diferenciación dimensional y la dominancia disminuyen a medida que se incrementa el grado de la severidad.

Palabras claves: regímenes de fuego, severidad incendios forestales, variación espacial

Introducción

¹ Una versión abreviada de este trabajo fue presentada en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, noviembre 5-11, 2012, Ciudad de México, México

² Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Ctra. Nal., km 145, 67700, Linares, Nuevo León, México. diesel_dyaf@hotmail.com.

Los incendios son uno de los disturbios naturales mas generalizados en los ecosistemas forestales (Perry y otros 2008, Bekker y Taylor 2010), en los cuales se presenta como un factor de alteración natural que contribuye al mantenimiento de los mismos (Omi 2005). Prácticamente todos los ecosistemas terrestres tienen un régimen de fuego, es decir, una historia de fuego que ha moldeado o afectado la estructura y composición de las especies dentro de dicho ecosistema. La presencia de disturbios naturales en los ecosistemas forestales, tales como el fuego, genera cambios en su estructura, lo que se manifiesta en la distribución espacial de los árboles (Gill y otros 1999). Estos cambios en la distribución de los individuos, originan que los patrones y la variación espacial de la estructura del rodal genere importantes efectos en la sucesión de los ecosistemas forestales a escala de rodal (Yu y otros 2009).

En este contexto, trabajos realizados al respecto, han manifestado que como efecto de la presencia del fuego en algunos ecosistemas forestales, han experimentado cambios drásticos en su estructura. Algunos autores refieren que la diversidad estructural a nivel rodal es el resultado de la severidad de los incendios ocurridos así como de los procesos que operan a la escala de rodal durante la ausencia de fuego. Así mismo consideran que como efectos de los incendios la gran variabilidad generada en la estructura de la masa contribuye, en algunos casos, con el incremento de la regeneración post-incendio (Lecomte y otros 2006, Lampainen y otros 2004, González y otros 2008). En las últimas décadas se han desarrollado distintos índices para evaluar la estructura del bosque, de los cuales destacan el conjunto de índices desarrollados por Gadow y Hui (2002), los cuales miden las variaciones a pequeña escala en la posición de los árboles, las especies y sus dimensiones basados en criterios de vecindad. Sin embargo, la aplicación de dichos índices se ha enfocado principalmente para valorar los efectos derivados del manejo del bosque, siendo mínima su aplicación para evaluar los efectos del fuego sobre la estructura forestal. En esta línea el objetivo del presente estudio fue realizar una caracterización de la distribución espacial de *Pinus hartwegii*, en tres rodales afectados en distintos grados de severidad de incendio durante el verano de 1998, en el cerro El Potosí.

Métodos

El presente estudio se realizó en el cerro El Potosí, el cual forma parte de la Sierra **Madre Oriental y se sitúa dentro del municipio de Galeana al sur del estado de Nuevo León**, entre los 24°50'35'' y 24°53'16'' de latitud Norte y los 100°13'12'' a 100°15'12'' de longitud Oeste (Figura1). Alcanza una altitud de 3700 m.s.n.m. altura que lo ubica como la cima más alta del norte de México (INEGI 1986). Durante la

estación seca del periodo 1997-1998 bajo las condiciones meteorológicas atribuidas al fenómeno de "El Niño", en esta zona se presentó un incendio forestal de grandes dimensiones, dicha conflagración afectó de manera considerable, los bosques de coníferas, del cerro (Lozano 2006).

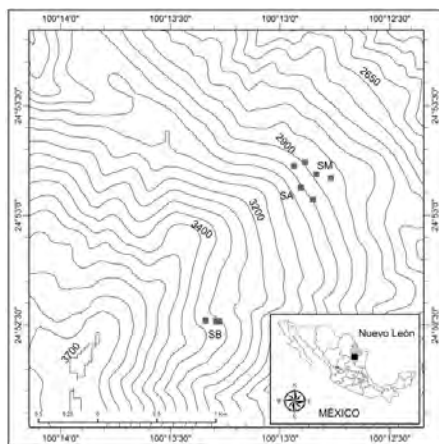


Figura 1—Ubicación de los sitios de muestreo en el área de estudio. SB=severidad baja. SM=severidad media. SA=severidad alta.

Metodología

Se seleccionaron tres rodales de *Pinus hartwegii* con tres diferentes grados de severidad de incendio (baja, media y alta) cada uno. Para determinar las severidades se tomó como base la clasificación realizada por Treviño y otros (2000), quienes evaluaron las superficies incendiadas en el sur de Nuevo León, mediante el análisis de dos imágenes de satélite Landsat TM, derivando las clases de severidad de incendio, dicha información fue validada en campo. Se instalaron nueve parcelas de muestreo de 40 m x 40 m, (tres severidades x tres rodales/severidad). Para cada parcela y solo para aquellos individuos con un diámetro a la altura de pecho (DAP) ≥ 5 cm se obtuvieron las siguientes variables dasométricas: diámetro a 1.30 m (cm), altura total (m), distancia (m) y azimut ($^{\circ}$) a cada árbol con respecto al centro de la parcela.

Para describir la estructura se utilizó un conjunto de índices para caracterizar los siguientes parámetros de los rodales: “agregación”, el cuál describe cómo se distribuyen los árboles sobre el terreno, y el “grado de diferenciación”, el cuál cuantifica las diferencias en tamaño de los árboles que conviven dentro del rodal (Gadow y otros 2001). La base para el desarrollo de los índices fue el método de muestreo estructural de los cinco árboles (Hui y Hu 2001), muestreo desarrollado para evaluar los atributos estructurales (dimensiones, especies y la regularidad de sus posiciones) de los árboles que forman una masa forestal (Gadow y otros 2001,

Aguirre y otros 2003). La determinación de los grupos se realizó con el apoyo del programa Winkelmass ver. 1.0.0 (2002), desarrollado por investigadores de la Universidad de Göttingen, Alemania. El conjunto de índices empleados se muestran a continuación:

Cuadro 1—Índices usados para la determinación de los grupos estructurales evaluados.

Índice	Donde:
Índice de Uniformidad de Gadow W_i $W_i = 1/n \sum_{j=1}^n V_{ij}$	n = es el número de árboles vecinos considerados; $W_{ij} = 1$ cuando el j-ésimo ángulo α entre dos árboles vecinos próximos es menor o igual al ángulo estándar α, en caso contrario toma un valor de 0. W_i puede tomar valores de 0 hasta 1, donde un valor cercano a cero representa condiciones de regularidad, valores cercanos al 0.5 muestran tendencia a la aleatoriedad y aquellos próximos a 1 presentan condiciones de agrupamiento
Índice de distancias D_i $D_i = \frac{1}{n} \sum_j d_{ij}; \bar{D}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N D_i$	Dónde: d_{ij} = distancias del árbol i-ésimo a su vecino j-ésimo, n = número de vecinos considerados, $\bar{D}_i$ = distancia promedio de la parcela i y N = número de grupos estructurales determinados por el programa Winkelmass. Las distancias promedio de cada severidad fueron distribuidas en diez clases de distancias que comprenden rangos de dos metros: clase 1: $0 < D_i \leq 2$ m; clase 2: $2 \text{ m} < D_i \leq 4$ m;....; clase 9: $16 \text{ m} < D_i \leq 18$ m; clase 10: $18 \text{ m} < 20$ D_i.
Índice de dominancia U_i $U_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_j$	Siendo $0 \leq U_i \leq 1$ y v_j es igual a 1 si el árbol j es menor que el árbol de referencia i y 0 en caso contrario.
Índice de diferenciación diamétrica (TD_i) y de altura (TH_i). $TD(i) = \frac{1}{N} \sum_N \frac{1}{n} \sum_n \left(1 - \frac{d_{\min}}{d_{\max}} \right)$ $TH(i) = \frac{1}{N} \sum_N \frac{1}{N} \sum_n \left(1 - \frac{h_{\min}}{h_{\max}} \right)$	Donde $TD(i)$ y $TH(i)$ = diferenciación diamétrica y en altura de la parcela i; n = número de vecinos considerados; N = número de árboles medidos; $d_{\min}$, $d_{\max}$, $h_{\min}$ y $h_{\max}$ = son los diámetros y alturas menor y mayor entre i y cada uno de sus n vecinos.

Resultados

Las características dasométricas por severidad se presentan en el cuadro 2. Los resultados de esta caracterización indican que las tres severidades registran bajas densidades, indicando disminución conforme aumenta la severidad del incendio. Misma situación que se presentó para los parámetros de área basal y diámetro. Sin embargo, para la variable altura la severidad alta presento un promedio en altura más elevado que la severidad media.

Cuadro 2—Características dasométricas de los rodales de *Pinus hartwegii* en las diferentes clases de severidad estudiadas en el Cerro El Potosí. PHb=severidad baja, PHm=severidad media, PHa=severidad alta. $\pm$ desviación estándar. Letras iguales en cada columna indican diferencias estadísticamente no significativas entre severidades. *parámetros ponderados al área basal.

Severidad	Densidad (N/Ha)	Área basal (m ² /Ha)	*Diámetro (cm)	*Altura (m)
PHb	185 $\pm$ 9.55	21.33 $\pm$ 0.51 ^a	38.30 $\pm$ 1.03 ^a	20.07 $\pm$ 1.57 ^a
PHm	183 $\pm$ 20.09	14.45 $\pm$ 1.02 ^b	31.76 $\pm$ 2.06 ^b	14.89 $\pm$ 0.82 ^b
PHa	150 $\pm$ 37.50	11.21 $\pm$ 5.35 ^b	30.46 $\pm$ 6.83 ^b	16.36 $\pm$ 2.26 ^b

Distribución espacial

Los valores medios del Índice de Uniformidad de Gadow fueron $W_i = 0.528$, 0.550 y 0.594 para severidad baja, media y alta respectivamente. Hui y Gadow (2002), mencionan que valores menores a 0.475 sugieren una distribución regular y aquellos mayores a 0.517 una distribución irregular con tendencia a la formación de grupos. Acorde con ello, los valores de W_i obtenidos para las tres severidades en este trabajo, indican una distribución irregular con tendencia a la agrupación. Para el índice de distancias D_i , las severidades presentaron los siguientes valores medios: severidad baja con un $\overline{D_i} = 6.49\text{ m}$, severidad media con un $\overline{D_i} = 5.63\text{ m}$ y la severidad alta con un valor $\overline{D_i} = 6.33\text{ m}$. Tales valores indican que el arreglo espacial de los árboles por grupo estructural para cada severidad tiene una distribución irregular, tomando como base las distancias entre un árbol referencia i y sus cuatro vecinos más cercanos.

Diferenciación espacial por dimensiones

Los valores del Índice de dominancia U_i muestran la dominancia de un árbol en particular con respecto a sus vecinos más próximos (Gadow y otros 2007), en este caso, tales valores expresan la dominancia de dimensiones por diámetro y altura. Con respecto a la dominancia por diámetro los valores medios fueron $U_i = 0.504$, 0.483 y 0.475 para la severidad baja, media y alta respectivamente. Para la dominancia con base en la altura, los valores promedio fueron $U_i = 0.500$, 0.491 y 0.453 por severidad respectivamente. Tales valores indican que solo pocos árboles, cuando son considerados como referencia, son dominantes en su entorno local, denotando con ello heterogeneidad de dimensiones diamétricas y de altura. Sin embargo, los promedios de la diferenciación diamétrica fueron $\overline{T D_i} = 0.17$, 0.28 y 0.34 para

severidad baja, media y alta respectivamente. El valor promedio obtenido para la severidad baja sugiere de la tendencia a la homogeneidad de dimensiones

Discusión

En los ecosistemas dependientes del fuego son sistemas caracterizados por presentar especies que resisten el paso del fuego con adaptaciones que han adquirido a lo largo del tiempo. Algunas de estas adaptaciones son presentadas por *Pinus hartwegii* (Rodríguez 2008). Es así que las características dasométricas así como la distribución espacial de *Pinus hartwegii* encontradas en este trabajo, son coincidentes con lo reportado por algunos estudios realizados sobre la ecología del fuego para dicha especie. En ellos, se hace referencia al factor ecológico fuego como un importante promotor de la regeneración ya que propicia el establecimiento de la especie, la cual, se ve favorecida por las condiciones creadas por el disturbio fuego, ello mediante la apertura de espacios en el sotobosque lo que propicia las condiciones idóneas para el establecimiento de nuevos individuos (Rodríguez 2008). Los resultados obtenidos por el índice de diferenciación e índice de dominancia para las variables de diámetro y altura, muestran que en la severidad alta es en la que se presenta el mayor contraste de dimensiones. Así mismo, se nota una tendencia al aumento de la agregación y la diferenciación dimensional conforme aumenta la severidad del fuego lo que consecuentemente genera que los valores de dominancia disminuyan conforme aumenta la severidad (Figura 2). Tales resultados están en línea con lo reportado por varios estudios afines (Lecomte y otros 2006, González y otros 2008, Yu y otros 2009, Bekker y Taylor 2010), quienes hacen referencia a condiciones de heterogeneidad dimensional como efecto del impacto del fuego en bosques de coníferas.

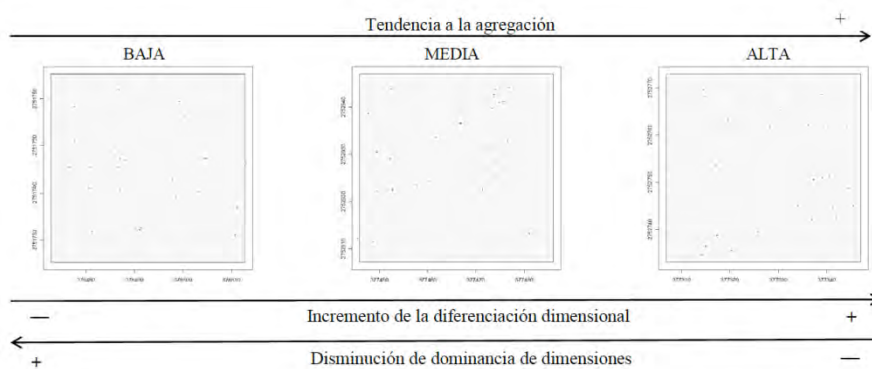


Figura 2—Distribución espacial por severidad de los individuos de *Pinus hartwegii* en el área de estudio Cerro El Potosí.

Así mismo es pertinente mencionar que la aplicación de este tipo de índices en México ha sido mayormente orientado a la evaluación del impacto de los

tratamientos silvícolas sobre la estructura de los ecosistemas forestales (Corral y otros 2005), siendo menor su aplicación con un enfoque ecológico o para determinar la influencia del disturbio fuego sobre las características estructurales del bosque (González y otros 2008).

Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que a medida que aumenta el grado de severidad de incendio aumenta el grado de agregación del arbolado así como el grado de diferenciación dimensional. Sin embargo, el grado de dominancia en dimensiones disminuye a medida que aumenta el grado de severidad del incendio.

Summary

The objective of this research was to characterize the pattern of spatial structure of a *Pinus hartwegii* forest in the Sierra Madre Oriental, affected by a fire in 1998. Sampling was stratified by fire severity. Three fire severity classes were defined (low, medium and high). Three sample plots of 40m x 40m were established for each severity. The variables obtained for all trees with a diameter at breast height (DBH) $\geq$ 5 cm in each plot were: DBH to 1.30 m (cm), height (m), spatial location by recording the azimuth ($^{\circ}$) and distance (m) from center of the plot to each tree. To describe the stand structure three groups of indices were employed: “contagion” and “distances” (W_i and D_i), “dominance” (U_i), and “size differentiation” (TD_i and TH_i) for DBH and height respectively. An analysis of variance was performed to detect differences between dasometric parameters by fire severity. Statistical analysis shows significant differences ($p > 0.001$) in the parameters such as basal area, diameter, and height, along the low, medium, and high fire severities. The characterization of the *Pinus hartwegii* spatial structure suggests that, with increasing degree of fire severity, the stands showed an increase on the aggregation index, however, the dimensional differentiation and dominance indices decreases as the fire severity increases.

Referencias

- Bekker M. F., Taylor A. H. 2010.** Fire disturbance, forest structure, and stand dynamics in montane forests of the southern Cascades, Thousand Lakes Wilderness, California, USA. *Écoscience* 17 (1):59-72.
- Corral R. J. J., Aguirre C. O.A., Jiménez P. J., Corral R. S. 2005.** Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña «El Cielo», Tamaulipas, México. *Invest Agrar: Sist Recur For* 14(2): 217-228.
- Gadow K. von., Real P., Álvarez, G.J. 2001.** Modelización del crecimiento y la evolución de los bosques. *UIFRO World Series*. Vol. 12, 242 pp.

- Gadow K.von., Hui G. Y. 2002.** Characterizing forest spatial structure and diversity. In: Bjoerk, L. (Ed.), Proceedings of the IUFRO International workshop 'Sustainable forestry in temperate regions', Lund, Sweden, pp. 20–30.
- Gadow, K. von., Sánchez O.S., Álvarez, J.G. 2007.** Estructura y Crecimiento del Bosque. 287 pp.
- Gill M., Woinarski J., York A. 1999.** Australia's biodiversity responses to fire. Biodiversity Technical Report No. 1, Environment Australia.
- González T, M. A., Schwendemann, L., Jiménez P, J., Schulz, R. 2008.** Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pine-oak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico, Forest Ecology and Management 256: 161-167.
- Hui G.Y., Hu Y.B., 2001.** Measuring species spatial segregation in mixed forest. For Res 14(1):23-27.
- Hui G.Y., Gadow K. von. 2002.** Das Winkelmaß. Herteilung des Optimalen Standwinkel. Allgemeine Forst u Jagdzeitung 10, 173-177.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1986.** Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. México.
- Lampainen, J., Kuuluvainen, T., Wallenius, T.H., Karjalainen, L., Vanha-Majamaa, I. 2004.** Long-term forest structure and regeneration after wildfire in Russian Karelia. Journal of Vegetation Science 15: 245-256.
- Lecomte N., Simard M., Bergeron Y. 2006.** Effects of fire severity and initial tree composition on stand structural development in the coniferous boreal forest of northwestern Québec, Canada. Écoscience 13(2): 152-163.
- Lozano, F. 2006.** Los incendios en Nuevo León, México, durante el verano de 1998. Laboratorio de Sistemas de Información Georeferenciada. Centro de Calidad Ambiental, ITESM Campus Monterrey. En línea: <http://albers.mty.itesm.mx/proyectos/incendios/indexincendios.html#potosí>. Consultado Agosto 2010.
- Omi P.N. 2005.** Forest Fires: a reference handbook. ABC-CLIO, Inc. Santa Barbara, California. 345 pp.
- Perry D.A., Oren R., Hart S.C. 2008.** Disturbance in forest ecosystems. In: forest ecosystems. Ed. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland, E.U.A. pp. 86-117.
- Rodríguez, T.D.A. 2008.** Fire Regimes, fire ecology and fire management in Mexico. A Journal of the Human Environment 37(7):548-556.
- Yu H., Wiegand T., Yang X., Ci L. 2009.** The impact of fire density-dependent mortality on the spatial patterns of a pine forest in the Hulun Buir sandland, Inner Mongolia, China. Forest Ecology and Management 257: 2098-2017.
- Yocom L.L., Fulé P.Z., Brown P.M., Cerano J.N., Villanueva D. J., Falk D.A., Cornejo O.E. 2010.** El Niño–Southern Oscillation effect on a fire regime in northeastern Mexico has changed over time. Ecology 91(6):1660-1671.

Aptitud Territorial Para Establecer Sistemas de Captación del Agua de Lluvia Contra Incendios Forestales¹

José María León Villalobos², Manuel Anaya Garduño¹, Enrique Ojeda Trejo¹, Dante Arturo Rodríguez Trejo³, José Luis Oropeza Mota¹, y Jorge Luis García Rodríguez⁴

Resumen

México, al igual que otros países, se ha visto impactado por la creciente ocurrencia de incendios forestales; así, entre otras acciones, se lleva a cabo el control aéreo de incendios mediante helicópteros, actividad que se ve limitada por la falta de agua. En este sentido, los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) pueden solucionar este problema. En el presente estudio, se realizó un análisis de aptitud territorial en un SIG para establecer SCALL en el oriente del estado de México. Se eligieron cinco variables para determinar la ubicación de SCALL: velocidad de ráfaga, evaporación, distancia a caminos, escurrimiento superficial y densidad de incendios; las cuales se representaron geográficamente mediante el inverso de la distancia ponderada para las dos primeras; distancia euclidiana, Curvas Numéricas y módulo de *Point Density*, para las tres últimas, respectivamente. Se utilizó la metodología de clasificación para estimar los pesos de las variables y la combinación lineal ponderada para generar el mapa de aptitud. Se identificaron dos áreas con aptitudes máximas, al noreste de Ixtapaluca y al sur de Tlalmanalco. El mapa de aptitud mostró relaciones positivas en la zona norte con las variables densidad de incendios, escurrimiento y evaporación; mientras que en la zona sur, con las variables escurrimiento, evaporación y velocidad de ráfaga. La aptitud identificada definió las mejores áreas para establecer SCALL destinados al control aéreo de incendios forestales, lo que permitirá un control oportuno; así, a fin de que existan incentivos económicos para construirlos, la propuesta deberá integrarse al marco de la política forestal.

Palabras clave: análisis multicriterio, combate incendios forestales, curvas numéricas

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales; noviembre 5-11 de 2012, Ciudad de México, México.

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Email: jomalevi@yahoo.com.mx

³ División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.

⁴ Subgerencia de inventario y monitoreo de suelos forestales, Comisión Nacional Forestal.

Introducción

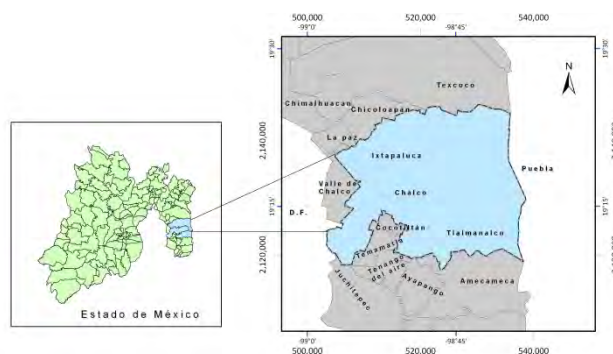
México, al igual que otros países, se ha visto impactado por la creciente ocurrencia de incendios y mega-incendios forestales, acrecentados por los efectos del cambio climático global, ya que en promedio se presentan 10 521 incendios cada año afectando unas 292 701 ha (Rodríguez y otros 2000). PROBOSQUE (Promotora de Bosques del Estado de México) (2011) ha identificado en el estado de México a la región del Izta-Popo como de alto riesgo por incendios forestales destacándose los municipios de Chalco, Tlalmanalco e Ixtapaluca en número y superficie afectados. Para hacer frente a la temporada, entre otras actividades, se lleva a cabo el control aéreo; sin embargo, su eficiencia es limitada ante la falta de fuentes de agua cercanas.

Los sistemas de captación del agua de lluvia (SCALL), que describen a todos los métodos para concentrar, almacenar y coleccionar el escurrimiento proveniente del agua de lluvia (De Winnaar y otros 2007), son reconocidos por su versatilidad para resolver los problemas de escasez de agua, aunque su localización puede depender de numerosos factores, por lo que se recurre a los sistemas de información geográfica (SIG) para enfrentar esta complejidad (Mbinyi y otros 2007). Numerosos estudios se han emprendido para determinar la aptitud de los territorios a fin de ubicar SCALL: Sekar y Randhir (2007) diseñaron una propuesta espacial para ubicar sitios de captación del agua de lluvia con fines de recarga de acuíferos; Mohtar y otros (2006) presentaron una estructura en SIG para ubicar reservorios en una cuenca local.

Los objetivos del presente estudio son: a) la selección y tratamiento geográfico mediante SIG de las variables que condicionan la localización del SCALL y b) la ponderación e integración de estas variables mediante un proceso jerárquico participativo y un método multicriterio.

Métodos

El área de estudio se encuentra en el oriente del estado de México, comprende los municipios de Chalco, Tlamanalco e Ixtapaluca en la zona oriente del estado de México (Figura 1) y cuenta con una superficie de 70 668.09 ha.



Figura—1 Localización del área de estudio.

De acuerdo con Escamilla y otros (2010), el coordinador de vuelo de la CONAFOR (Com. Pers)⁵ y estudios afines (Weerasinghe y otros 2010), las variables más importantes en el carguío de agua y funcionalidad del SCALL en control aéreo de incendios forestales son las siguientes: a) velocidad de viento; b) densidad de incendios; c) cercanía a caminos; d) visibilidad (niebla); e) temperatura del aire; f) altitud; g) escurrimiento superficial, h) pendientes; e i) evaporación. Después de un análisis detallado de la información, las variables de visibilidad, temperatura del aire, pendiente y altitud fueron descartadas, las restantes fueron procesadas en el SIG generando mapas de la manera siguiente:

a) Velocidad de viento: se referenciaron geográficamente, en ArcGis 9.2, ocho EMAS (Estaciones Meteorológicas Automatizadas), se obtuvieron las medias aritméticas de los vientos en la temporada de incendios (diciembre a julio) y se aplicó el método de interpolación IDW (*Inverse Distance Weighting*, inverso de la distancia ponderada). El mapa, se reclasificó de acuerdo con la escala de Beaufort.

b) Densidad de incendios: el mapa se generó a partir de 456 registros en la zona de estudio, periodo 2005 – 2010, empleando el módulo “point density” de ArcGis 9.2 (Vilar del Hoyo, 2007).

c) Cercanía de caminos: los caminos se digitalizaron en imágenes SPOT 5 y se aplicó el módulo de distancia euclidiana en ArcGIS 9.2 para generar distancias verticales en metros.

d) Escurrimiento superficial: se calculó con el método de Número de Curva (NC), del USDA Soil Conservation Service (SCS); la precipitación requerida en el cálculo se obtuvo en dos pasos: 1) se determinó para cada estación meteorológica la longitud de registro necesaria para que la media de los datos contaran con una probabilidad del 90%, y 2) se ajustaron los valores de lluvia a funciones de

⁵ Félix Moreno Pichardo. Coordinador Aéreo. CONAFOR, Estado de México. Km. 43.5, Carretera México Toluca, Campamento Forestal. Ocoyoacac, Estado de México. Tel. 01 728 28 23 456.

distribución para calcular el periodo de retorno a 1.1 años y garantizar una probabilidad del 90% en la oferta de precipitación (Campos1998).

El grupo hidrológico se asignó a cada unidad de suelo según los cuadros del USDA SCS y la cubierta vegetal, actualizada al año 2010, se clasificó por su condición hidrológica; ambas se sobrepusieron en el programa ArcView 3.2 y se les asignó el NC correspondiente para una humedad antecedente tipo II, 12.7 – 38.1 mm, (Ramakrishnan y otros 2009). El escurrimiento superficial se multiplicó por la superficie de la celda (900 m²) para obtener el resultado en metros cúbicos.

e) Evaporación: para su cálculo se interpolaron los valores promedios anuales por el método de IDW en Arc Gis 9.2.

Para elaborar el mapa de aptitud territorial, los mapas de las variables de densidad de incendios, escurrimiento superficial, evaporación, velocidad de viento y distancia a caminos fueron reclasificados en cuatro categorías; luego, cada tema fue priorizado de acuerdo con el experto y sus valores de ponderación que enseguida se indican, se obtuvieron a partir del método de suma y recíproco (SEMARNAT - INE 2006): 0.33, 0.27, 0.20, 0.13 y 0.07, respectivamente. La integración de los mapas se realizó por combinación lineal ponderada (Bojórquez-Tapia y otros 2003). El mapa de aptitud se estandarizó dentro de una escala de 0 a 10.

Resultados

Se elaboraron mapas en Arc Gis 9.2 para las cinco variables seleccionadas:

a) Velocidad de viento: las más intensas se encontraron en las áreas de mayor altitud, al noreste y las menores en las partes más bajas, al suroeste. La clase óptima elegida para establecer los SCALL fue la de 29 a 49 km h⁻¹(Cuadro 1).

Cuadro 1—Clases, superficies y priorización de la variable velocidad de viento

Variable	Priorización	Clases	Superficie	Ocupación en el territorio
		km/h	ha	%
Velocidad de viento	1	75 - 117	28 269.53	40.00
	2	62 – 74	8200.26	11.60
	3	50 – 61	13 832.61	19.57
	4	29 - 49	20 365.70	28.82
			70 668	100

b) Distancia a caminos: el área de estudio presentó, en poco más del 94% de su superficie, distancias de 0 a 1000 m que fueron elegidas como óptimas (Cuadro 2).

Cuadro 2—Clases, superficies y priorización de la variable distancia a caminos

Variable	Priorización	Clases	Superficie	Ocupación en el territorio
		m	ha	%
Distancia a caminos	1	2000 - 2500	453.15	0.64
	2	1500 - 2000	786.96	1.11
	3	1000 - 1500	2348.46	3.32
	4	0 - 1000	67 078.62	94.92
			70 668	100

c) Escurrimiento superficial: se identificaron al sur de Tlalmanalco los mayores volúmenes (415 - 667 m3) y fue seleccionada como óptima (Cuadro 3); en contraste, al norte, en Ixtapaluca, se localizaron las aportaciones más escasas (163– 280 m3).

Cuadro 3—Clases, superficies y priorización de la variable escurrimiento superficial

Variable	Priorización	Clases	Superficie	Ocupación en el territorio
		m3	ha	%
Escurrimiento superficial	1	163 - 280	1836.24	2.60
	2	280 - 402	41 958.08	59.45
	3	402- 415	15 346.02	21.74
	4	415 – 667	11 432.91	16.20
			70 668	100

d) Evaporación: se encontraron valores entre los 1080 y 1968 mm como promedio anual (Cuadro 4). La clase 1080 – 1302 mm se seleccionó como la óptima.

Cuadro 4— Clases, superficies y priorización de la variable evaporación

Variable	Priorización	Clases	Superficie	Ocupación en el territorio
		mm	ha	%
Evaporación	1	1745 - 1968	13 390.56	18.95
	2	1524 - 1745	12 738.51	18.03
	3	1302 - 1524	11 103.03	15.71
	4	1080 - 1302	33 437.79	47.32
			70 668	100

d) Densidad de incendios: se encontraron de 0 a 3.3 incendios km-2 y se seleccionaron las densidades de 2.4 hasta 3.3 como óptimas (Cuadro 5).

Cuadro 5— Clases, superficies y priorización de la variable densidad de incendios

Variable	Priorización	Clases	Superficie	Ocupación en el territorio
Densidad de incendios		incendios km-2	ha	%
	1	0-0.8	55 193.72	78.10
	2	0.8-1.6	6949.52	9.83
	3	1.6-2.4	5484.25	7.76
	4	2.4-3.3	3043.71	4.31
			70 668	100

La máxima aptitud territorial para SCALL destinados al control de incendios forestales se localizó al noreste, en Ixtapaluca, y sur, en Tlalmanalco (Figura 4). La mayor parte de la superficie, 30.49%, se ubicó en la categoría cinco (Cuadro 6).

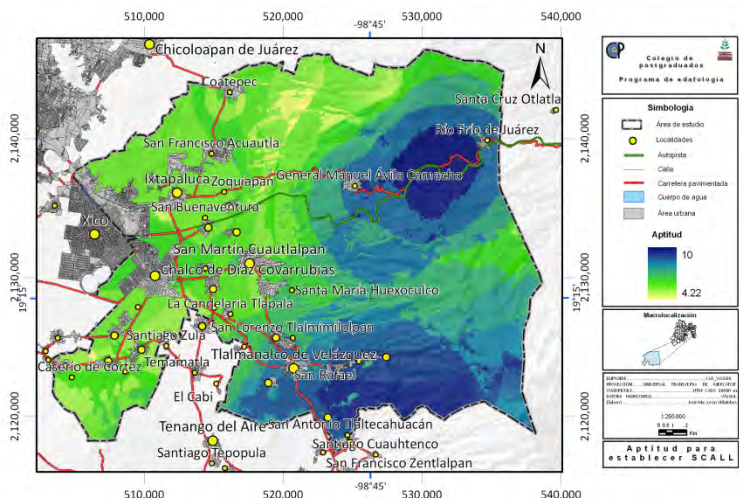


Figura 4—Aptitud territorial para SCALL contra incendios forestales

Cuadro 6—Superficie de cada categoría de aptitud encontrada en el área de estudio

Escala de aptitud	Superficie	Representación en el territorio
	(ha)	(%)
4	939.51	1.33
5	21 512.43	30.49
6	13 579.11	19.24
7	14 383.71	20.39
8	14 229.45	20.17
9	5829.93	8.26
10	85.86	0.12
	70 668	100%

Discusión

Otras investigaciones con un esquema similar recurren al análisis de dos variables: a) escurrimiento superficial (Gutpa y otros 1997) y b) pendientes (Mbilinyi y otros 2007), simplificando la selección de criterios, según observan Ramakrishnan y otros (2009).

Aunque para la mayoría de los estudios la variable pendiente es importante, fue descartada del modelo por su bajo valor de ponderación. En cambio, Gutpa y otros (1997) indican que la pendiente es una variable clave por la influencia sobre la cantidad de escurrimiento; empero, esta afirmación tiene limitada validez en una escala regional como es el caso. La altitud se eliminó también del modelo, pues el control aéreo de incendios se ha realizado con éxito altitudes mayores a 4,000 m.

El escurrimiento superficial, presentó en el mapa una gran variabilidad, 163 a 667 m³; así por ejemplo, la zona noreste mostró números de curva (NC) altos (70, 73 y 86) y volúmenes de escurrimiento importantes (415 a 667 m3), que se relacionaron con suelos regosoles y precipitaciones pluviales de 600 mm anuales.

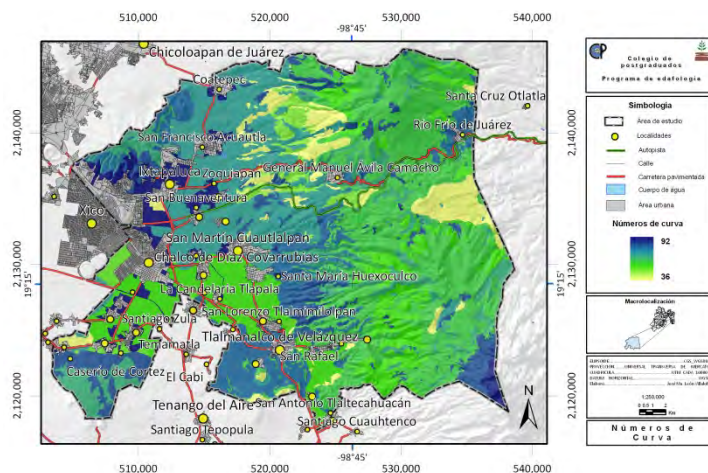


Figura 3—Números de curva por unidad de suelo y tipo de vegetación

Lo anterior fue también observado por Sekar y otros (2007) en un estudio similar, donde los tipos de suelo y su capacidad de infiltración afectaron de manera directa los valores de las curvas numéricas y subsecuentes valores de escurrimiento.

Las distancias a los SCALL para usos agrícolas se definen entre 1000 y 2000 m (De Winnaar y otros 2007); en contraste, para la presente propuesta se requiere la mayor cercanía a los caminos. La clase óptima guardó una relación positiva con las aptitudes máximas debido a la suficiencia de la red de caminos en las áreas de incendios. Por otro lado, los sitios encontrados como aptos para SCALL destinados al control de incendios forestales responden, por un lado, a los valores de ponderación

de cada variable, y por el otro, a las clases óptimas de cada una; tal es el caso de las variables densidad de incendios, escurrimiento superficial y evaporación, que definieron los sitios con aptitud en la zona norte. Lo anterior fue también observado por Weerasinghe y otros (2010), cuyos sitios potenciales para SCALL dependieron de los valores de ponderación y de las clases óptimas de cada variable. En cambio, se presentó una relación negativa con la variable velocidad de viento, en la zona norte; esto coincide con lo observado por Simiu (1978), quien indica que los registros de viento menores a 10 años no producen resultados veraces.

Aunque se pueden considerar a otros factores de carácter social, económico y ambiental, estos pueden ser validados en el sitio de establecimiento del SCALL de acuerdo con el terreno y el diseño de la estructura (De Winnaar y otros 2007; Sekar y Randhir 2007; Ramakrishnan y otros 2009).

Sumario

La presente investigación evaluó la capacidad territorial en tres municipios de la zona oriente del estado de México, para establecer SCALL destinados al control aéreo de incendios forestales, conjuntando variables que afectaban el carguío de agua del helicóptero y al SCALL mismo, mediante la evaluación multicriterio en SIG, encontrándose buenas aptitudes en más del 28% del área de estudio, en dos zonas: al norte, en Ixtapaluca, y al sur, en Tlalmanalco. Las variables respondieron, en su mayoría, con una relación positiva; excepto la velocidad de viento. La aptitud identificada provee un marco útil para la toma de decisiones, a la que se tendrán que sumar elementos económicos y sociales para decidir sobre el tipo de estructura (diseño) que sea más costeable y cause el menor impacto ambiental.

Referencias

- Bojórquez – Tapia, L. A. L.; Bower, P.; Castilleja, G.; Sánchez-Colón, S.; Hernández, M.; Calvert, W.; Díaz, S.; Gómez-Priego, P.; Alcantar, G.; Melgarejo, D.; Solares, M.; Gutiérrez L.; M. Juárez. 2003.** Mapping expert knowledge: redesigning the monarch butterfly biosphere reserve. *Conservation Biology*. 17 (2): 367-379.
- Campos, A. D. F. 1998.** Procesos del ciclo hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 556 p.
- De Winnaar, G.; Jewitt, G. P. W.; Horan, M. 2007.** A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 32 (3): 1058-1067.
- Escamilla, G.; Pérez P. J.; Valenzuela P. L. 2010.** La brigada de helitanque y los procedimientos de trabajo con helicópteros. Corporación Nacional Forestal. Santiago de Chile, Chile. 52 p.
- Gutpa, K. K.; Deelstra, J.; Sharma, K. D. 1997.** Estimation of water harvesting potencial for a semiarid area using GIS and remote sensing. (242). http://iahs.info/redbooks/a242/iahs_242_0053.pdf (22 de febrero de 2012).

- Mbilinyi, B. P.; Tumbo, S. D.; Mahoo H. F.; Mkiramwinyi, F. O. 2007.** GIS - based decision support system for identifying potential sites for rainwater harvesting. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.* 32 (16):1074-1081.
- Mohtar, H. R., Zhai, T.; Choi, J. Y.; Adrian, B.; Ouessar, M.; Abdelli, F.; Bernard, E. 2006.** Web - based GIS - Hydrologic Modeling for Siting Water Harvesting Reservoirs (ISCO 2006). [http://www.vulgarisation.net/isco2006/1/T1-MohtarWeb%20Based%20GIS%20Hydrologi-cal % 20Modeling-USA.pdf](http://www.vulgarisation.net/isco2006/1/T1-MohtarWeb%20Based%20GIS%20Hydrologi-cal%20Modeling-USA.pdf) (19 de enero de 2012).
- Promotora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE). 2011.** Probosque en alerta durante la temporada de estiaje (6). <http://www.forestalxxi.com/index.php?option=comcontent&view=article&id=243:probosque-en-alerta-durante-la-temporada-de-estiaje&catid=76:probo osque&Itemid=70> (20 de enero de 2012).
- Ramakrishnan, D.; Bandyopadhyay, A; Kusuma, K. 2009.** SCS - CN and GIS - based approach for identifying potential water harvesting sites in the Kali Watershed, Mahi River Basin, India. *Journal of Earth System Science.* 118 (4):355-368.
- Rodríguez, T. D. A.; Rodríguez, A. M.; Sánchez, F. F. 2000.** Educación e incendios forestales. Editorial Mundi-Prensa. México, D.F. 201 p.
- Sekar, I.; Randhir, T. O. 2007.** Spatial assessment of conjunctive water harvesting potential in watershed systems. *Journal of Hydrology.* 334 (2):39-52.
- Simiu, E. 1978.** Wind effects on structures: an introduction to wind engineering. John Willey and Sons. New York, E.U. 589 p.
- Vilar del Hoyo. 2007.** Análisis comparativo de diferentes métodos para la obtención de modelos de riesgo humano de incendios forestales. Análisis comparativo de diferentes métodos para la obtención de modelos de riesgo humano de incendios forestales (1). http://www.geogra.uah.es/firemap/pdf/VilardelHoyo_et_al_SPAIN.pdf (20 de enero de 2012).
- Weerasinghe, H.; Schneider, U.; Löw, A. 2010.** Water harvest and storage location optimization model using GIS and remote sensing (1). [http://balwois.com/balwois/administration/full paper/ffp-1653.pdf](http://balwois.com/balwois/administration/full%20paper/ffp-1653.pdf) (5 de febrero de 2012).

Cultura del Fuego y Educación Ambiental en Áreas Proclives a Incendios Forestales: Situación Actual en España¹

Clara Quesada-Fernández² y Daniel Quesada-Fernández³

Resumen

La *cultura del fuego* en un marco de cambio climático se ha convertido en una relación complicada entre las personas y los espacios naturales. La interacción entre poblaciones y fuego no es un aspecto reciente. El uso del fuego por el ser humano en la mayor parte de los aspectos vitales, especialmente en las áreas rurales, junto a un crecimiento rápido y desordenado de estructuras en zonas proclives a los incendios forestales ha dado lugar a que los propietarios y residentes que habitan estas zonas estén menos implicados debido a una concepción urbana de las zonas naturales y forestales. Al mismo tiempo las áreas rurales han visto disminuir y envejecer su población por procesos de migración hacia las ciudades. Las autoridades responsables en materia forestal y de protección civil, tanto a nivel nacional, como regional y local han puesto en práctica en estas zonas diversas estrategias de prevención de la situación descubriendo que estas no resultan suficientes para frenar el problema el cual está aumentando con el paso del tiempo. Por este motivo se ha llegado a la conclusión de que la población debe pasar de ser parte del problema a ser parte activa de la solución. Además, el comportamiento humano es un aspecto difícilmente predecible, especialmente en situaciones de emergencia, tales como aquellas en zonas de interfaz urbano forestal, hecho que aumenta el valor del riesgo en estas zonas. Por ello, a través de actividades de educación ambiental, forestal y en emergencias es posible realizar una labor de información, formación y concienciación sobre el problema. Este trabajo realiza un resumen de algunos casos de la situación actual en España en áreas proclive a incendios forestales en situación de interfaz urbano forestal y sobre cuáles podrían ser las medidas y futuras recomendaciones a adoptar para proteger la propiedad y la vida y contribuir a un trabajo de extinción de incendios más seguro.

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional Sobre Planificación, Políticas, y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, noviembre 5-11 del 2012, Ciudad de México, México.

² Ingeniera de Montes, MSc Manejo del Fuego Forestal, MSc Protección Civil y Gestión de Emergencias (claraquesada@gmail.com)

³ Profesor, Facultad de Ciencias de la Educación, Departamento de Didáctica de las Ciencias Sociales y Experimentales, Universidad de Córdoba (Córdoba, España) (danielquesadafernandez@gmail.com)

Palabras clave: cambio climático, comportamiento humano, evacuación, extinción de incendios forestales, interfaz urbano forestal, política forestal, prevención, riesgo

Introducción

La *cultura del fuego* en un marco de cambio climático se ha convertido en una relación complicada entre las personas y los espacios naturales. La interacción entre poblaciones y fuego no es un aspecto reciente. El uso del fuego por el ser humano en la mayor parte de los aspectos vitales, especialmente en las áreas rurales, junto a un crecimiento rápido y desordenado de estructuras en zonas proclives a los incendios forestales ha dado lugar a que los propietarios y residentes que habitan estas zonas estén menos implicados debido a una concepción urbana de las zonas naturales y forestales. Al mismo tiempo las áreas rurales han visto disminuir y envejecer su población por procesos de migración hacia las ciudades.

Los incendios forestales son un problema endémico en los países de la cuenca mediterránea. Las últimas estadísticas generales indican que la superficie afectada en los últimos años se mantiene o aumenta ligeramente. Sin embargo el año 2012 y sus meses de verano se han vuelto dramáticos en España. El número de hectáreas quemadas totales ha multiplicado por cuatro el valor de la última década y el valor del incendio medio se ha duplicado en algunas regiones respecto al año anterior. La cuantificación de hectáreas afectadas que antes se evaluaba por centenares ahora ha tornado en miles o, en los casos más extremos, en decenas de miles.

Todas las regiones españolas se están viendo afectadas por problemas ambientales y emergencias de seguridad y salud públicas y protección civil de manera directa o indirecta. Muchas zonas están sufriendo en sus territorios los peores siniestros de las últimas décadas (Valdemaqueda, provincia de Madrid; Coín, provincia de Málaga) o incluso de su historia (Castrocontrigo, provincia de León; Cortes de Pallás y Andilla, provincia de Valencia; isla de La Gomera, provincia de Tenerife) por la superficie afectada y los bienes amenazados y afectados pero, principalmente, por las consecuencias trágicas sobre las vidas de las personas. Gran parte de las zonas afectadas corresponde a zonas cercanas a núcleos de población, la mayor parte de ellas áreas de interfaz urbano forestal o rural forestal.

La situación general

La superficie forestal española es muy importante tanto a nivel general como en cada una de las Comunidades Autónomas- Regiones (*tabla 1*) y presenta valores económicos interesantes tanto en valores tangibles como en intangibles, desde los puntos de vista de los aspectos productivo, recreativo y ambiental.

En muchas regiones existen importantes problemas de despoblamiento de los

núcleos rurales cuyos habitantes realizaron un éxodo hacia los núcleos urbanos. El crecimiento exponencial de muchos de ellos y la concentración de habitantes junto a la proximidad del entorno rural y forestal facilita la salida ocasional hacia dichas zonas buscando tranquilidad y esparcimiento. La vida en las ciudades y núcleos urbanos con unas elevadas densidades poblacionales (*tabla 2*), en muchos casos con valores exagerados e incompatibles con el propio ciudadano, se ha convertido en algo incómodo de lo que conviene distanciarse periódicamente. Sin embargo estas personas ya no poseen una sensibilidad con el entorno como antaño pues su concepción del medio rural y forestal se realiza desde el punto de vista de habitantes de un entorno urbano.

Tabla 1—*Características principales de la superficie forestal a partir de la información recogida en el Inventario Forestal Nacional (IFN3 e IFN4) y en el Mapa Forestal de España (MFE50 y MFE25).*

Comunidad Autónoma (Región)	Superficie arbolada (ha)	Superficie desarbolada (ha)	Superficie forestal total (ha)
Andalucía	2.922.691	1.544.446	4.467.137
Aragón	1.543.465	1.071.868	2.615.333
Canarias	132.142	434.276	566.418
Cantabria	213.718	148.396	362.114
Castilla-La Mancha	2.708.098	889.462	3.597.561
Castilla y León	2.944.948	1.870.336	4.815.284
Cataluña	1.606.236	330.720	1.936.956
Comunidad de Madrid	258.106	163.225	421.330
Comunidad Foral de Navarra ⁽¹⁾	435.003	159.389	594.392
Comunidad Valenciana	747.821	519.216	1.267.036
Extremadura	1.897.506	830.353	2.727.859
Galicia ⁽¹⁾	1.429.775	610.947	2.040.722
Islas Baleares	173.126	44.371	217.496
La Rioja	165.812	135.381	301.193
País Vasco	397.306	98.696	496.002
Principado de Asturias	441.946	323.983	765.929
Región de Murcia	301.708	185.669	487.377
Ceuta y Melilla ⁽³⁾	s.d. ⁽²⁾	s.d. ⁽²⁾	s.d. ⁽²⁾
Total	18.319.405	9.360.734	27.680.139

(1) CCAA con cifras del MFE25. (2) s.d = sin datos disponibles. Fuente: Anuario de Estadística Forestal 2009 del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino del Gobierno de España (MAGRAMA). (3) Ciudades Autónomas.

Este intento de escapada de las urbes se materializa en numerosas ocasiones en viviendas, establecidas de manera legal o ilegal, construidas en el monte al modo urbano aunque sin seguir normas de orden ni seguridad. La mayor parte de estas zonas constituyen las áreas de interfaz urbano forestal y urbano rural que causan mayores problemas.

Tabla 2— Caracterización de la superficie regional y la población en España.

Comunidad Autónoma (Región)	Población (2011⁽¹⁾)	% total población	Superficie (km²)	% total superficie	Densidad de población (hab/km²)
Andalucía	8.424.102	17,85	87.591	17,32	96,18
Aragón	1.346.293	2,85	47.719	9,44	28,21
Principado de Asturias	1.081.487	2,29	10.604	2,10	101,99
Islas Baleares	1.113.114	2,36	4.992	0,99	222,98
Canarias	2.126.769	4,51	7.447	1,47	285,59
Cantabria	593.121	1,26	5.321	1,05	111,47
Castilla-La Mancha	2.115.334	4,48	79.463	15,71	26,62
Castilla y León	2.558.463	5,42	94.223	18,63	27,15
Cataluña	7.539.618	15,98	32.114	6,35	234,78
Comunidad Valenciana	5.117.190	10,84	23.255	4,60	220,05
Extremadura	1.109.367	2,35	41.634	8,23	26,65
Galicia	2.795.422	5,92	29.574	5,85	94,52
Comunidad de Madrid	6.489.680	13,75	8.028	1,59	808,38
Región de Murcia	1.470.069	3,12	11.313	2,24	129,95
Comunidad Foral de Navarra	642.051	1,36	10.391	2,05	61,79
País Vasco	2.184.606	4,63	7.234	1,43	301,99
La Rioja	322.955	0,68	5.045	1,00	64,01
Ceuta ⁽²⁾	82.376	0,175	19	0,004	4335,58
Melilla ⁽²⁾	78.476	0,166	13	0,003	6036,62
Total	47.190.493	100	505.980	100,06	93,27

(1) Fecha de referencia 1 de enero de 2011. Fuente: Datos de población del Instituto Nacional de Estadística (INE), datos de superficies regionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN) 2012. (2) Ciudades Autónomas.

Por otra parte la realización de políticas de restauración forestal de zonas degradadas por los incendios forestales acaecidos y/u otras causas unida, paradójicamente, a la falta de gestión en estas mismas y otras zonas han propiciado la acumulación de biomasa en nuestros montes Según los datos del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3), realizado entre los años 1997 – 2007 y los primeros datos disponibles para algunas provincias del inicio de Cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN4) las superficies de monte arbolado han aumentado a la vez que disminuyen las de monte ralo y disperso y de monte desarbolado.

En consecuencia la biomasa forestal disponible, tanto en pies mayores como en pies menores, ha aumentado su valor.

Al mismo tiempo la población que antaño realizaba un aprovechamiento de esta biomasa ha envejecida y no puede realizar estas acciones y la no envejecida no encuentra una remuneración social, energética y económica adecuada a estas actividades y las reduce o abandona.

Las autoridades responsables en materia forestal y de protección civil, tanto a nivel nacional, como regional y local han puesto en práctica en estas zonas diversas estrategias de prevención de la situación descubriendo que estas no resultan suficientes para frenar el problema el cual está aumentando con el paso del tiempo.

Prevención de incendios forestales

La prevención de incendios forestales es una parte esencial en la lucha contra los mismos y en llevar a cabo la planificación de políticas, en la asignación de recursos, en la organización de los dispositivos y en la ejecución y consecución de resultados. Se trata de una tarea a largo plazo en cuanto a los efectos que quieren conseguirse tanto en términos tanto de plazos temporales forestales como de cambio de actitud en las poblaciones.

Prevención general

La prevención de incendios forestales se ha considerado tradicionalmente como una actividad consistente en la realización de actuaciones forestales a media o gran escala consistente en realizar repoblaciones arbóreas, mediante siembra o plantación y limpieza y reparación de caminos forestales. Más adelante se incorporaron actuaciones como restauraciones hidrológico forestales. En muchas zonas, principalmente en los núcleos rurales, no se consideraba imprescindible realizar ningún otro tipo de tarea pues el uso de la biomasa mediante aprovechamiento y la gestión del territorio mediante la llamada *cultura del fuego* no lo hacía necesario. La población estaba implicada en su entorno, en su uso, en su aprovechamiento y, sobre

todo, en su conservación. Sin embargo, el cambio en los usos sociales fue comprometiendo este mantenimiento así como la implicación de la población.

Necesidad de implicación y de prevención y participación social

Además de las actuaciones consideradas clásicas de intervención en el medio rural hay que tener en cuenta las poblaciones incluidas en este. Estos habitantes del medio forestal y rural, población envejecida o nuevos pobladores urbanitas, necesitan implicarse en el desarrollo, mejora y conservación del entorno. Para ello el cambio de actitudes y mentalidades para concienciar que el entorno ya no es como era en la generación anterior ni es de tipo urbano necesita también de un proceso a largo plazo sobre la población que ocupa el territorio.

En el trabajo con la población usuaria del territorio forestal es posible realizar propuestas preventivas comunicando en qué consisten (tarea de información) y para qué sirven (tarea de formación) antes de llevarlas a cabo (bien con los propios medios o ayudados administrativamente y en la ejecución de las mismas). Conocer el entorno y los riesgos con los que puede encontrarse ayuda a tomar medidas para evitar que éstos se produzcan.

Un aspecto añadido es la proliferación de las zonas en las que las superficies forestales y urbanas están cercanas y se entremezclan resultando las llamadas zonas de interfaz urbano forestal. El resultado de un pretendido uso forestal del territorio por parte de población urbana o con mentalidad urbana está implicando una serie de inconvenientes añadidos y aumento del riesgo en estas zonas tanto para los usuarios de las mismas como para los servicios de emergencias que allí acudan en caso de ser necesaria su actuación.

Las autoridades responsables en materia forestal y de protección civil, tanto a nivel nacional, como regional y local han puesto en práctica en estas zonas diversas estrategias de prevención de la situación descubriendo que estas no resultan suficientes para frenar el problema el cual está aumentando con el paso del tiempo. Por este motivo se ha llegado a la conclusión de que la población debe pasar de ser parte del problema a ser parte activa de la solución.

En la disminución del riesgo de incendio en zonas de interfaz urbano forestal estas zonas los aspectos principales se organizan en manejo de la vegetación y otros combustibles, medidas sobre las edificaciones y acciones sobre las infraestructuras viarias y de defensa, activa y pasiva, y sobre las viviendas. Las infraestructuras convenientemente protegidas contribuyen notablemente a la seguridad de los residentes y combatientes del incendio y facilitan una rápida respuesta frente al mismo. Las edificaciones desprotegidas, cuyos dueños no han tomado medidas

preventivas, pueden dejar de ser prioritarias en la actuación de los equipos de protección civil. Es necesaria la colaboración de los propietarios para garantizar la defensa de las edificaciones en las zonas de interfaz. Estos aspectos se pueden conseguir mediante actividades de concienciación, educación y sensibilización.

Una aproximación a nivel general orientada al gran público permite la difusión de mensajes preventivos de incendios y de divulgación del uso adecuado del monte a través de campañas institucionales de promoción y de divulgación mediante la organización de jornadas, seminarios y cursos y plasmándose en publicaciones con un desarrollo de forma general en la Región o en ámbitos más específicos como el urbano, el residencial y el rural. Dado que este sistema está orientado a la ciudadanía en general se debe dar participación real a la sociedad civil con la colaboración en los Planes locales de prevención y la externalización de servicios mediante la asistencia técnica y la contratación laboral. Otra medida que surte gran efecto en otros ámbitos que se ha aplicado es la consideración del voluntariado como método educativo y de integración de colectivos desfavorecidos.

Una aproximación a nivel escolar debe tener en cuenta que se dirige a un público infantil y juvenil con grandes aptitudes de percepción y aprendizaje de conceptos nuevos. Las campañas de información en este colectivo pasa por el contacto con los escolares con actividades dirigidas a sensibilizar a los más pequeños mediante jornadas en los colegios se combinan y completan con excursiones al monte. Como medida de refuerzo es importante la edición de publicaciones y aprovechar las ventajas y facilidades que ofrecen las nuevas tecnologías y la adaptación actual a las mismas con la que cuentan los centros escolares. La educación es la herramienta adecuada para promover cambios sociales y de conducta, por ello el dirigir las campañas divulgativas sobre prevención de incendios forestales hacia la población escolar se revela como un aspecto de especial relevancia a tener en cuenta en la fase de planificación.

En otra de las aproximaciones que se proponen, el nivel local, cambia el marco geográfico en que se desarrolla la acción de información. Debe aprovecharse la proximidad al ciudadano quien puede sentir el problema más cercano cuando se dan ejemplos y detalles concretos del propio territorio. Es importante la labor personalizada de información, asesoramiento, disuasión verbal, concienciación-sensibilización y educación personalizada que se puede prestar en estos casos.

Casos de estudio

La Administraciones regionales de las Comunidades Autónomas así como la Administración General a través del Ministerio de Agricultura, Alimentación y

Medio Ambiente, están llevando a cabo campañas de información a la ciudadanía sobre las implicaciones de un mal uso del fuego y el riesgo de incendios forestales que desemboca en incendios forestales causantes de graves pérdidas ecológicas y económicas para el patrimonio. En el caso de las zonas de interfaz urbano forestal se está realizando una labor muy importante de concienciación. Son numerosos los ejemplos de sucesos trágicos ocurridos durante el año 2012 implicando zonas con población en situación de interfaz urbano forestal-rural.

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente lleva a cabo a nivel estatal incidiendo en la población rural en numerosas zonas (Vélez, 2007) mediante las labores que realizan desde el año 1998 los Equipos Prevención Integral de Incendios Forestales (EPRIF). Estos equipos están compuestos por personal técnico y operativo que actúan sobre zonas en las que las causas de incendios por actividades humanas tienen mayor incidencia. A nivel urbano y general también desarrolla otras campañas de concienciación y sensibilización como las campañas escolares.

En el ámbito regional a lo largo del año 2011 se ha desarrollado la aplicación práctica de las tareas resultantes del proyecto *Pyrosudoe* de estudio de la *cultura del fuego* en residentes/propietarios en zonas de interfaz urbano forestal. Este proyecto, dentro del programa Interreg IV del marco general FP7 de la Unión Europea, contó con la colaboración de especialistas en prevención de incendios forestales de los socios participantes, Francia (Aquitania, Languedoc-Rosillon), Portugal (Algarve) y España (Andalucía, Aragón, Illes Balears) y preveía la ejecución de medidas de disminución del riesgo de incendios forestales en los bosques próximos a zonas de interfaz urbano forestal.

En este sentido se realizaron reuniones informativas con los responsables de los municipios para transmitirles la preocupación por parte de la Administración regional en este sentido. Son los municipios, a nivel local, los que deben encargarse de los *Planes de autoprotección* en su territorio y son los ciudadanos de los mismos los que deben implicarse y reclamar su redacción y, sobre todo, su posterior ejecución. Los municipios participantes como *sitios piloto de estudio* acogieron con interés estas iniciativas y se están realizando actuaciones concretas en algunos de ellos.

En Andalucía se realizaron unas jornadas de divulgación a nivel de responsables de los municipios y de ciudadanos así como cualquier otra persona o posible implicado en la gestión del territorio, tanto público como privado. En ese sentido asistieron responsables de zonas urbanizadas, de gabinetes de arquitectura y diseño y suministradores de planta forestal. A nivel técnico se realizaron otras jornadas de formación a las que asistieron los máximos responsables del Gobierno Regional

encargados de la gestión del dispositivo de prevención y extinción de incendios forestales (Plan INFOCA) así como los responsables de los cuerpos de Protección Civil.



Figura 1: Ejemplos de programas de información a la población en zonas proclives a incendios forestales. Fuente: Quesada, D., 2011 & 2012.

En Illes Balears se llevaron a cabo reuniones con los propietarios y gestores del medio forestal. Se editó numeroso material informativo al respecto. Hay que destacar la dificultad añadida en las tareas de información en esta Comunidad debido a la importancia del turismo extranjero así como los propietarios y residentes provenientes de otros países de Europa.

En ambos casos se obtiene como conclusiones que la población residente en los núcleos de población de zonas de interfaz urbano forestal y zonas limítrofes suele tener fidelidad al municipio con la decisión personal de no modificar su lugar de residencia. Sin embargo, esta circunstancia no implica la percepción ni la vivencia del riesgo de incendios forestales.

Del mismo modo la Administración Regional y Local debe trabajar también para que Agentes Forestales y de Medio Ambiente y responsables de espacios naturales

con categorías de protección ambiental aúnen intereses y concilien voluntades tratando de sensibilizar respecto al problema mediante reuniones con agrupaciones naturalistas, de agricultores, de ganaderos y de cazadores.

En el caso de Illes Balears existe poca tradición en la potenciación de la selvicultura y la gestión forestal en fincas privadas o públicas como herramienta de prevención a través de la mejora de la masa. Por ello surge la necesidad de la demostración de una selvicultura adaptativa a través de la ejecución de trabajos orientados a la mitigación de impactos. Así, es imprescindible desarrollar una tarea previa de planificación que identifique los riesgos, las zonas vulnerables y las directrices para disminuir dicha vulnerabilidad.

Las características de las zonas de riesgo de incendio forestal en la interfaz urbano forestal sugieren que no es posible separar el medio forestal de los habitantes que residen en el mismo y que éstos presentan gran heterogeneidad en la percepción de dicho riesgo.

El riesgo general por fenómeno natural percibido por los ciudadanos se centra fundamentalmente en el riesgo de incendios forestales como un riesgo meteorológico. La población no percibe que exista un riesgo mayor por el hecho de situarse en zonas pobladas en el medio forestal pues no consideran las zonas de interfaz urbano forestal como tales. Es decir, perciben los incendios forestales como causa de la acción antrópica pero en gran medida también como fenómeno natural imprevisible. Sin embargo, en determinadas zonas existen muchos casos de personas que admiten como importante el riesgo de incendios forestales en la interfaz urbano forestal pues han sufrido sus consecuencias y lo consideran un riesgo personal. En este sentido se han sucedido numerosos ejemplos durante los últimos años, muchos de ellos en 2010, 2011 y 2012, tanto en Illes Balears como en Andalucía con miles de hectáreas quemadas y miles de personas residentes desalojadas de manera preventiva en las zonas afectadas. En Illes Balears cabe citar, entre muchos otros, los siniestros ocurridos en la isla de Ibiza: Benirràs, en 2010; Cala Longa y Morna-Sant Joan de Labritja, en 2011 y en la isla de Mallorca: Santa Margalida y Artà, en 2011; Capdepera, en 2012. Por su parte, en Andalucía se citan como ejemplos los incendios forestales acaecidos en las provincias de Almería (Mojácar, 2010 y Bédar, en 2012), de Málaga (Manilva, en 2011 y Ojén, en 2012), de Granada (Lanjarón, en 2012).

Además, gran parte de los ciudadanos no suele tener una idea formada o no consideran que la logística estatal en materia de incendios forestales presente el grado de adecuación necesario. Se tiene la creencia de que mayor inversión en medios implica disminución del riesgo en la interfaz urbano forestal con mejores resultados en cuanto a menor número de incendios y hectáreas quemadas. Al mismo tiempo, la

población percibe que la prevención de incendios forestales resulta mucho menos costosa que la gestión de las zonas forestales y que las actuales trabas existentes en la prevención del riesgo no son de naturaleza económica ni tecnológica sino que se trata de un problema político-organizativo. En este sentido las iniciativas legislativas orientadas y encaminadas a prevenir el riesgo son acogidas de forma notable y por eso es necesario implicar al propietario particular y hacer recaer la parte de responsabilidad que corresponde sobre el individuo. La Administración y las instituciones que deberían implicarse en el tratamiento del riesgo por incendios forestales en la interfaz urbano forestal corresponde a los Ayuntamientos mediante las tareas de prevención, de gestión y de intervención.

Paralelamente el proyecto contempla una divulgación de los resultados del proyecto para concienciar a los propietarios de fincas forestales y a la población en general de la necesidad de esta gestión y adaptación de los bosques

Conclusiones

A pesar del grado de concienciación y sensibilización creciente entre la sociedad sobre los impactos negativos asociados a los incendios forestales es necesario intensificar los esfuerzos y realizar tareas nuevas para poder dar al ciudadano residente en las zonas de interfaz urbano forestal un mejor conocimiento y mostrarle los riesgos que implican los incendios forestales que se puede encontrar y poder considerarlos en su totalidad. En este sentido sería necesario realizar estudios conducentes al conocimiento de la percepción del riesgo por parte de la población, de acuerdo a ellos proceder a una educación y concienciación para posteriormente llevar a cabo un seguimiento y control.

La investigación de las causas de incendios forestales permitirá determinar la problemática en cada punto del territorio y la investigación sociológica permitirá analizar la actitud social frente a los sistemas forestales. Estos aspectos deben permitir realizar en cada momento una retroalimentación de la concienciación ciudadana a través de elementos de corrección.

Para implantar una conciencia de peligro en la población y en el uso adecuado del fuego en las zonas forestales se debe educar para crear sensibilidad en materia de prevención de incendios forestales. La información debe transmitirse a varios niveles según la población implicada y es necesario tener en cuenta que existen diversos canales de difusión de información y los receptores de la misma se encuentran en grupos heterogéneos de percepción. Las campañas divulgativas constituyen una herramienta útil para la prevención de incendios forestales en aquellas zonas donde la causalidad de los mismos tiene un origen marcadamente antrópico. El objetivo final,

sin embargo, sigue siendo único. Los niveles identificados comienzan en el general, pasan por el escolar y terminan en el local.

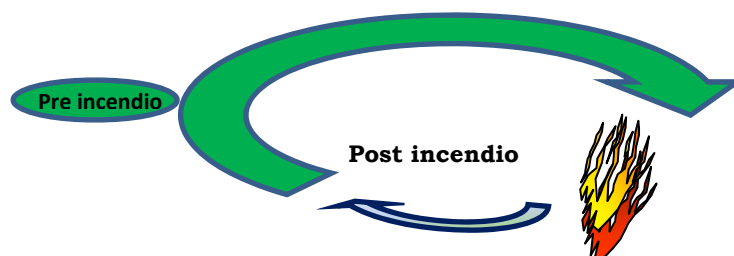


Figura 2—Esfuerzos generales deseables aplicados al proceso del incendio forestal desde el punto de vista de la prevención del mismo. Fuente: Quesada, D, 2012.

Sumario

Las campañas de educación ambiental en la cultura del riesgo por incendio forestal en la interfaz urbano forestal aportan datos sobre problemas locales y sectoriales imprescindibles para la planificación de cualquier política preventiva sobre los incendios forestales. Además, permiten alcanzar un alto nivel de participación social y de corresponsabilidad ante esta problemática a la vez que se consigue establecer un acercamiento entre la relación administrador-administrado. En este sentido las iniciativas legislativas orientadas y encaminadas a prevenir el riesgo son acogidas de forma notable y por eso es necesario implicar al propietario particular y hacer recaer la parte de responsabilidad que corresponde sobre el individuo. En la parte que corresponde a la Administración las instituciones a nivel local que deberían implicarse en el tratamiento del riesgo por incendios forestales en la interfaz urbano forestal son los Ayuntamientos mediante las tareas de prevención, de gestión y de intervención.

Referencias

- Absher, J.; Kyle, G.** 2007. An overview of risk and trust as precursors to defensible space actions by wildland-urban interface residents.
- Allen, J.B.; Ferrand, J.** 1999. Environmental locus of control, sympathy, and proenvironmental behaviour: a test of Geller's actively caring hypothesis. *Environment and Behavior*, 31(3): 338–353.
- Caballero, D.; Quesada-Fernández, C.** 2010. Caracterización del Riesgo por Incendio Forestal en la Interfaz Urbano-Forestal de la Comunidad Autónoma de Islas Baleares. Govern de les Illes Balears. Direcció General de Medi Forestal i Protecció d'Espècies.
- Caballero, D.; Quesada-Fernández, C.** 2010. Estudio y diagnosis del riesgo por incendio forestal en la interfaz urbano-forestal en la Comunidad de Madrid. Gobierno de Madrid. Consejería de Presidencia, Justicia e Interior.
- Caballero, D.; Quesada-Fernández, C.** 2010. Estudio y diagnosis preliminar del riesgo por incendio forestal en la interfaz urbano-forestal en la Comunidad Autónoma Valenciana. VAERSA.
- Caballero, D.; Quesada-Fernández, C.** 2011. Caracterización del riesgo por incendio forestal en la interfaz urbano-forestal en la Comunidad Autónoma de Andalucía - Zona costera de Málaga y Granada. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente.
- Cvetkovich, G.T.; Winter, P.L.** 2008. The experience of community residents in a fire-prone ecosystem: a case study of the San Bernardino National Forest. Res. Pap. PSW-RP-257. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Kollmuss, A.; Agyeman, J.** 2002. Mind the Gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, 8 (3).
- Molina-García, Y.** 2006. La participación comunitaria en la prevención y combate de incendios forestales: estrategias que la promueven. *Revista For. Lat* 40:107-123.
- Mueller, J.M.; Loomis, J.B.; González-Cabán, A.** 2008. Do repeated wildfires change homebuyers' demand for homes in high- risk areas? A hedonic analysis of the short and long-term effects of repeated wildfires on house prices in southern California.
- Rodríguez-Trejo, D. A.; Rodríguez-Aguilar, M.; Fernández-Sánchez, F.** 2001. Educación e incendios forestales. Mundi Prensa. Madrid.
- Quesada-Fernández, C.; Caballero, D.** 2011. Caracterización de la interfaz urbano forestal y propuesta de medidas preventivas contra incendios forestales en los municipios de Córdoba y Almodóvar del Río. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente.
- Quesada-Fernández, C.; Quesada-Fernández, D.** 2011. Improving educational aspects as a way to prevent fire risk in fire prone communities in Spain. In Duce, P.; Spano, D. Proceedings of the ICFBR 2011, International Conference on Fire Behaviour and Risk. Alghero. Italy. EDES Sassari. Italy.
- Quesada-Fernández, C.; Quesada-Fernández, D.** 2012. Improving educational aspects as a way to prevent fire risk in fire prone communities. Cases of study in Spain. In: Spano, D.; Bacciu, V.; Salis, M.; Sirca, C. Modelling fire behaviour and risk. Sassari. 218-223.
- Vélez, R.** 2000. Actuación sobre las causas de origen humano. Persuasión, conciliación y sanción. Legislación preventiva. In: Vélez, R, coordinator. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. McGraw-Hill, Madrid. 13.1-13.6 y 13.18–13.28,

- Vélez, R.** 2002. Forest fire prevention with a target: The rural people. In: Viegas, D, editor. Proceedings of the IV International Conference on Forest Fire Research. Luso, Portugal.
- Vélez, R.** 2007. Experiences in Spain of community based fire management. In: Proceedings of the IV International Wildland Fire Conference, Sevilla, 2007.
- Vélez, R.** 2008. Forest Fires in the Mediterranean Basin. In: González-Cabán, A, coordinator. Proceedings of the III Symposium on Fire Economics. Carolina, Puerto Rico, 2008.
- Villalba Ondurria, D.; Martín Pinto, P.** 2004. La educación como herramienta fundamental en la prevención de incendios forestales. Tabanque, 18. 189-206.

Riesgo de Incendios en los Patrones Paisajísticos de Carreteras del Estado de Paraná, Brasil – Subsidios Para la Planificación de la Interfaz Urbano-Rural¹

Daniela Biondi², Antonio Carlos Batista³, y Angeline Martini⁴

Resumen

El Departamento de Carreteras del estado de Paraná, Brasil recomienda 22 normas que definen la función de los sitios y de las características de la vegetación que se establecerá. En ninguna de esas normas se tiene en cuenta el riesgo de incendios forestales. Para contribuir con el paisajismo de las carreteras, este estudio tuvo como objetivo analizar los riesgos de incendios de estos patrones de paisaje para que sean enriquecidos con especies menos inflamables para inhibir y / o impedir la propagación del fuego. En un análisis detallado de las normas recomendadas, se encontró que en 50% de esas normas, el riesgo de incendios es uno de los factores básicos para la selección de especies utilizadas. De acuerdo con esta investigación, las normas paisajísticas de carreteras que presentan mayores riesgos de incendios son: parada de ómnibus, estación de servicio, límites con las propiedades, zonas industriales, vegetación nativa, áreas degradadas, barreras verdes, laderas y fajas centrales. Se concluye que la evaluación del riesgo de incendios forestales en la planificación paisajística de las carreteras debe ser una herramienta esencial para reducir los daños causados por el fuego en las áreas de la interfaz urbano-rural de Paraná, Brasil.

Palabras-clave: paisajismo de carreteras, paisaje, prevención de incendios.

Introducción

La destrucción de viviendas y la pérdida de vidas debido a los incendios en las áreas de la interfaz urbano-rural (WUI) son motivo de titulares en varias partes del mundo (Gill y Stephens, 2009). Las zonas de la interfaz urbana-rural se definen como

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales; noviembre 5-11 de 2012, Ciudad de México, México.

² M.Sc, DSc. Profesora del Curso de Ingeniería Forestal da Universidade Federal do Paraná. dbiondi@ufpr.br

³ M.Sc, DSc. Profesor del Curso de Ingeniería Forestal da Universidade Federal do Paraná. batistaufpr@ufpr.br

⁴ Ingeniera Forestal, Alumna del Curso de Maestria em Ingeniería Forestal da Universidade Federal do Paraná. martini.angeline@gmail.com

espacios físicos donde la vegetación y las construcciones conviven en un ambiente propicio para los incendios (Ribeiro y otros 2010). Radeloff y otros (2005) complementan el concepto de WUI diciendo que es una zona de conflicto entre los seres humanos y el medio ambiente, tales como: la destrucción de casas por incendios forestales, la fragmentación del hábitat, la introducción de especies exóticas y la pérdida de la biodiversidad.

Ribeiro y otros (2010) diagnosticando los incendios en las zonas WUI de Portugal, encontraron que los incendios forestales en estas áreas son un problema creciente no sólo en Portugal, sino en todo el mundo, donde el aumento de la frecuencia y el peligro de incendios tienden a coexistir con la presencia humana en los asentamientos.

Las áreas WUI son una gran preocupación en términos de gestión y evaluación de riesgo de incendios (Lampin-Maillet y otros 2011).

El término riesgo de incendio se refiere a las posibilidades de un incendio de iniciarse y propagarse en un área (Soares y Batista 2007). Según Jappiot y otros (2009) el riesgo de incendios es el resultado de una combinación de riesgo debido a la probabilidad de ignición (i), la probabilidad de que el fuego se propague a través del paisaje (ii) y a la vulnerabilidad expresada como el potencial de daños a la vegetación, casas y otros edificios, principalmente debido a la intensidad del fuego.

La mayoría de los estudios del sur de Europa indican que las fuentes de ignición de incendios están ubicadas alrededor de la interfaz entre las actividades humanas y las áreas forestadas. Aproximadamente el 50% de las fuentes de ignición de los incendios están ubicadas en las orillas de carreteras (incluyendo todas las categorías de carretera). Estas fuentes de ignición son variadas: cigarrillos, accidentes automovilísticos, automóviles sin matachispas y líneas eléctricas. Se pueden producir diferentes formas de ignición: colillas de cigarros, llamas (incendios, accidentes) o emisión de chispas (líneas eléctricas, motores, automóviles); de energía variable, mostrando varias maneras para inflamar la vegetación (Curt y Delcros 2007).

La vegetación a lo largo de las carreteras es generalmente dividida en zonas que se organizan como una serie de líneas ubicadas en los laterales de la carretera hasta encontrar la vegetación natural o área silvestre adyacente. Esta organización depende de las condiciones ambientales locales y de los componentes estructurales del corredor de la carretera (pasillo, pista de rodamiento y declividad). El patrón espacial de estos componentes estructurales y la vegetación juega un papel importante en la ignición y propagación de incendios (Curt y Delcros 2010)

Relacionado con los párrafos anteriores, una de las cuestiones que surgen es el tratamiento del paisaje en las carreteras, que no sólo deben cumplir con los principios estéticos y ecológicos, sino también con los principios funcionales: agregando funciones relativas al control de los incendios forestales. El tratamiento del paisaje en

las carreteras se refiere a todas las actividades desarrolladas a orillas de las mismas o autopistas, promoviendo su integración en el paisaje, combinando los principios de la conservación ecológica, cultural y estética (Biondi 2002).

En una visión práctica y aplicada Göetze (2000) considera los siguientes objetivos del tratamiento del paisaje de la carretera: integrar a la misma al ambiente con la mitigación de los efectos de su implementación; reducir los costos de conservación con el uso de vegetación adecuada; contribuir a la seguridad vial; crear puntos de descanso para los usuarios de la carretera; ayudar en el mantenimiento de pistas y enriquecer sus orillas con vegetación nativa; contribuir con el desarrollo del turismo en la región; generar ahorros en mantenimiento a la carretera con la vegetación para la preservación de su estructura.

En Brasil el tratamiento paisajístico de las carreteras es aún incipiente. Aunque el país tiene 8.514.876.599 km², más del 60% del transporte de cargas se realiza a través de las carreteras nacionales. Además, por las carreteras y autopistas de Brasil circulan 17,9 millones de automóviles, 3,087 millones de vehículos comerciales livianos, 1,17 millones de camiones y aproximadamente 258 mil autobuses. Según el Departamento Nacional de infraestructura de transportes, el país tiene poco más de 1,7 millones de kilómetros de carreteras, de las cuales sólo un 10% son pavimentadas, de un total aproximado de 172897 km. De los cuales, 57211 km son carreteras federales (33%), 94753 km son carreteras estatales (55%) y 20914 km son carreteras municipales (12%). Con respecto a la conservación de carreteras, el 80% de la pavimentación tiene más de diez años (Brasil 2012).

A fin de contribuir con el paisajismo de carreteras este trabajo tiene el objetivo de analizar el riesgo de incendios de los patrones paisajísticos de las carreteras buscando implementar medidas y técnicas que dificulten la ignición y propagación de incendios en las zonas de la interfaz urbano-rural del Paraná, Brasil.

Métodos

Esta investigación sobre el riesgo de incendios en el paisajismo vial fue realizada para las carreteras del Paraná-Brasil (figura 1).

El Departamento de “Estradas e Rodagem do Paraná-Brasil” recomienda 22 padrones paisajísticos de carreteras (Göetzke 2000). Ellos son:

1. Patrón Tangente para fajas de dominio estrechas (< 25 m) – vegetación dispuesta linealmente variando las especies en grupos de 5 individuos
2. Patrón Tangente para fajas de dominio ancho (> m 25) – dispuesta en forma de islas;
3. Patrón Estación de combustible – vegetación rastrera y arbustiva con floración exuberante o follaje atractivo para marcar el paisaje de entrada;

4. Patrón Terrazas – vegetación ligera, capaz de sobrevivir la carencia de agua y fertilidad del suelo, a fin de cubrir la mayor parte de la superficie del suelo;
5. Patrón Relleno– vegetación que contribuya con el drenaje y a garantizar su estabilidad, pudiendo ser arbustiva (junto al aparcamiento), césped (base del relleno) y arbórea (en la extremidad);
6. Patrón Retorno – vegetación de bajo porte que señala los retornos;
7. Patrón para zonas industriales – vegetación de floración exuberante para resaltar estas áreas;
8. Patrón para Vegetación arbórea existente: vegetación herbácea florífera que complemente la vegetación arbórea local;
9. Patrón para Tiendas comerciales en calles marginales: vegetación anual plantada en floreros para apartar las tiendas;
10. Patrón Placas de señalización – vegetación que sirve como telón de fondo de las placas;
11. Patrón Puentes – vegetación para señalar puentes;
12. Patrón Areas degradadas: vegetación rústica, capaz de sobrevivir en ambientes áridos, de aspecto de paisajístico interesante;
13. Patrón Barrera verde: árboles de grande porte para ocultar áreas degradadas;
14. Patrón Canales - vegetación que sirva de filtro para el agua que escurre de los taludes;
15. Patrón Trevo: vegetación (árboles y arbustos) que sirva de estímulo a la reducción de velocidad;
16. Patrón Curvas horizontales / Defensas vivas – vegetación (árboles y arbustos) que sirven para señalización de larga distancia;
17. Patrón Taludes de cortes – vegetación (césped, arbusto escandente y trepaderas) para proteger el talud contra la erosión;
18. Patrón de Cruce peatonal - arbusto de pequeño porte que ofrece líneas de estímulo a la reducción de velocidad y orienta el cruce peatonal;
19. Patrón separador central con barrera contra luz: arbusto y césped de fácil manejo que sirve como una barrera contra la luz;
20. Patrón Separador central sin barrera contra la luz: vegetación rastrera (gramíneas bajas) y fácil manejo;
21. Patrón Parada de ómnibus – vegetación arbórea capaz de ofrecer sombra y refugio del viento;
22. Patrón Protección contra la erosión - vegetación resistente a la erosión: para garantizar la estabilidad de la salida de desagües (Figura 2a y 2b).

La relación de los patrones del paisaje de carretera con el riesgo de incendios se

basó en los factores asociados con la ignición y la propagación del fuego, tales como: vegetación (formas de vida, inflamabilidad, estacionalidad), relieve, microclima, diseño y disposición de estructura vial vertical y horizontal, intensidad del tráfico vehicular; tipo de vecindad o uso de la tierra y presencia humana.

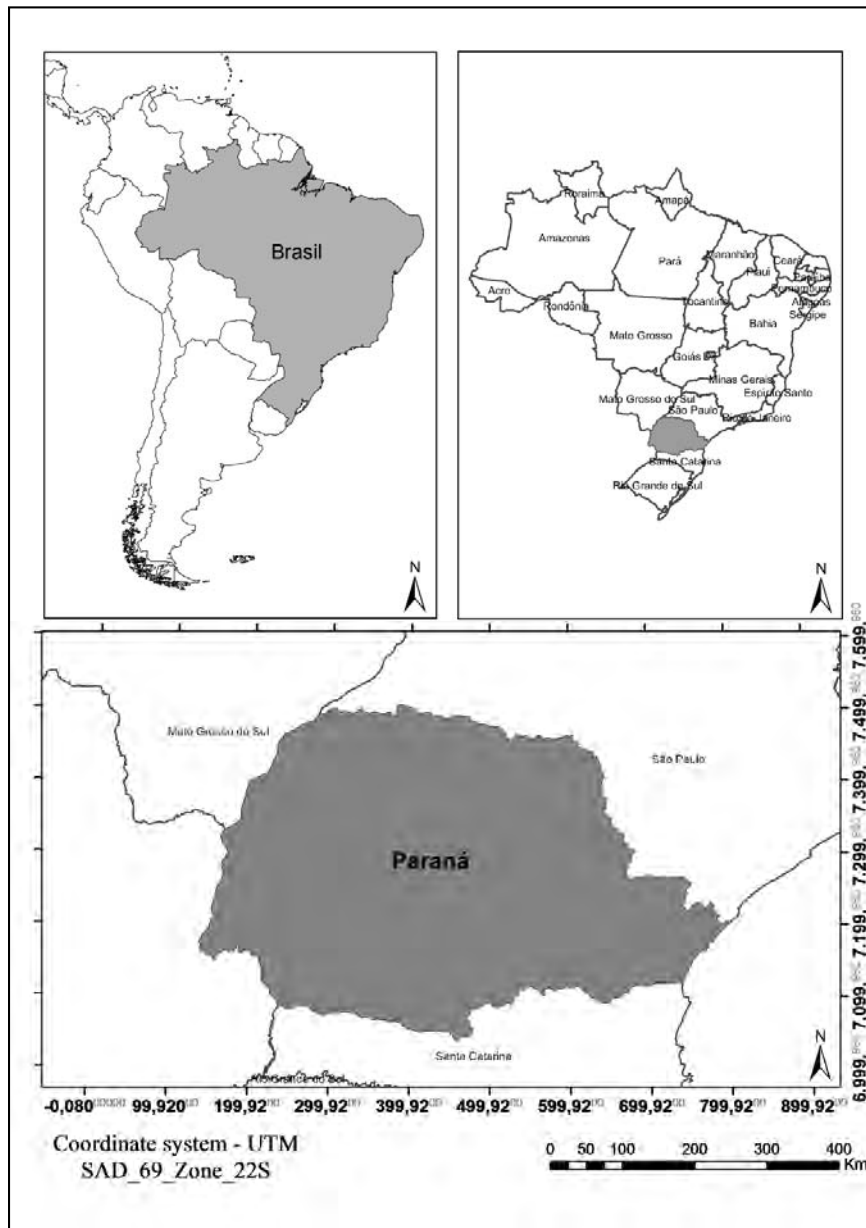


Figura 1—Localización del área de estudio.

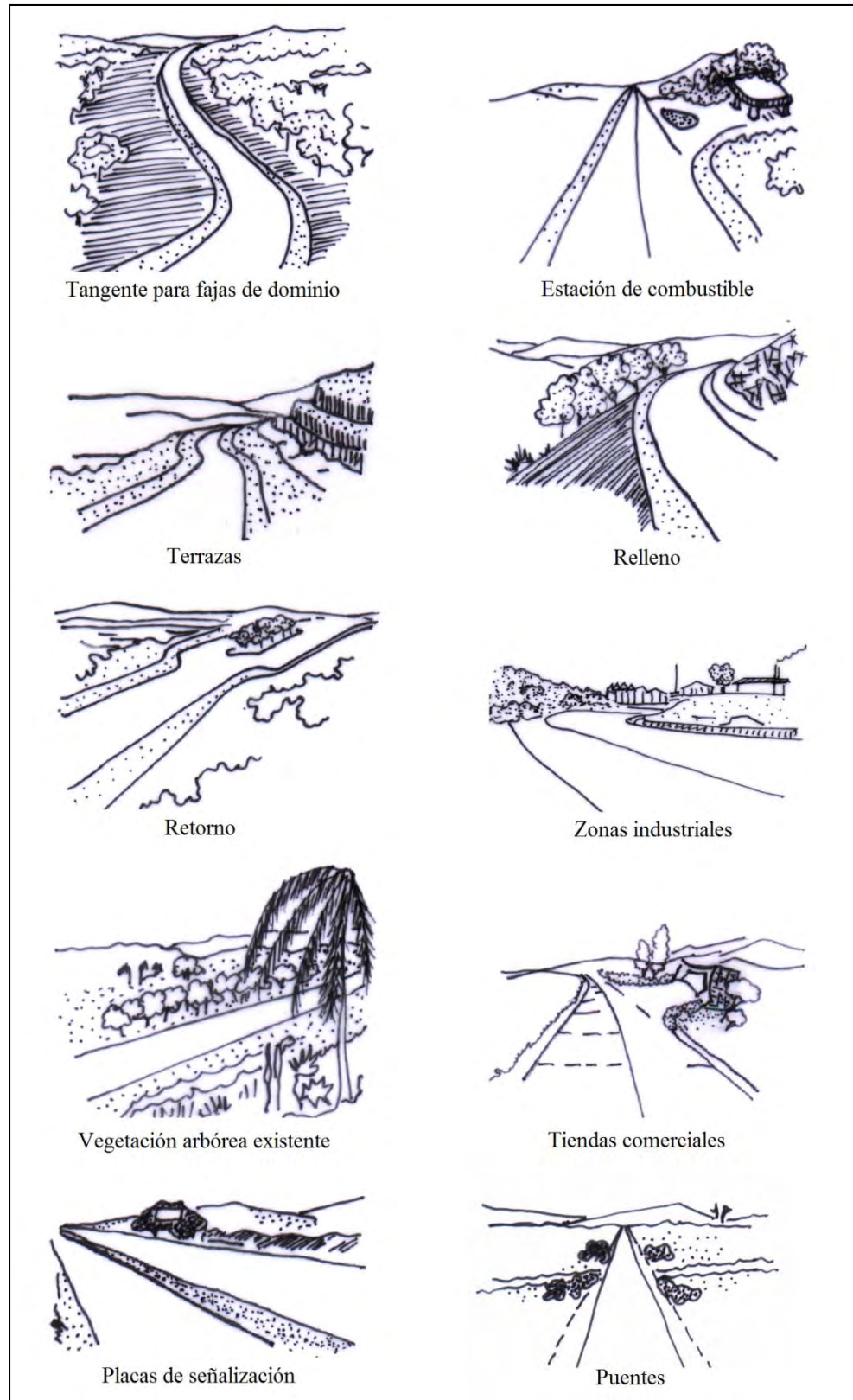


Figura 2a—Patrones paisajísticos de carreteras (basado en Dória 1973 y Göetzke 2000).

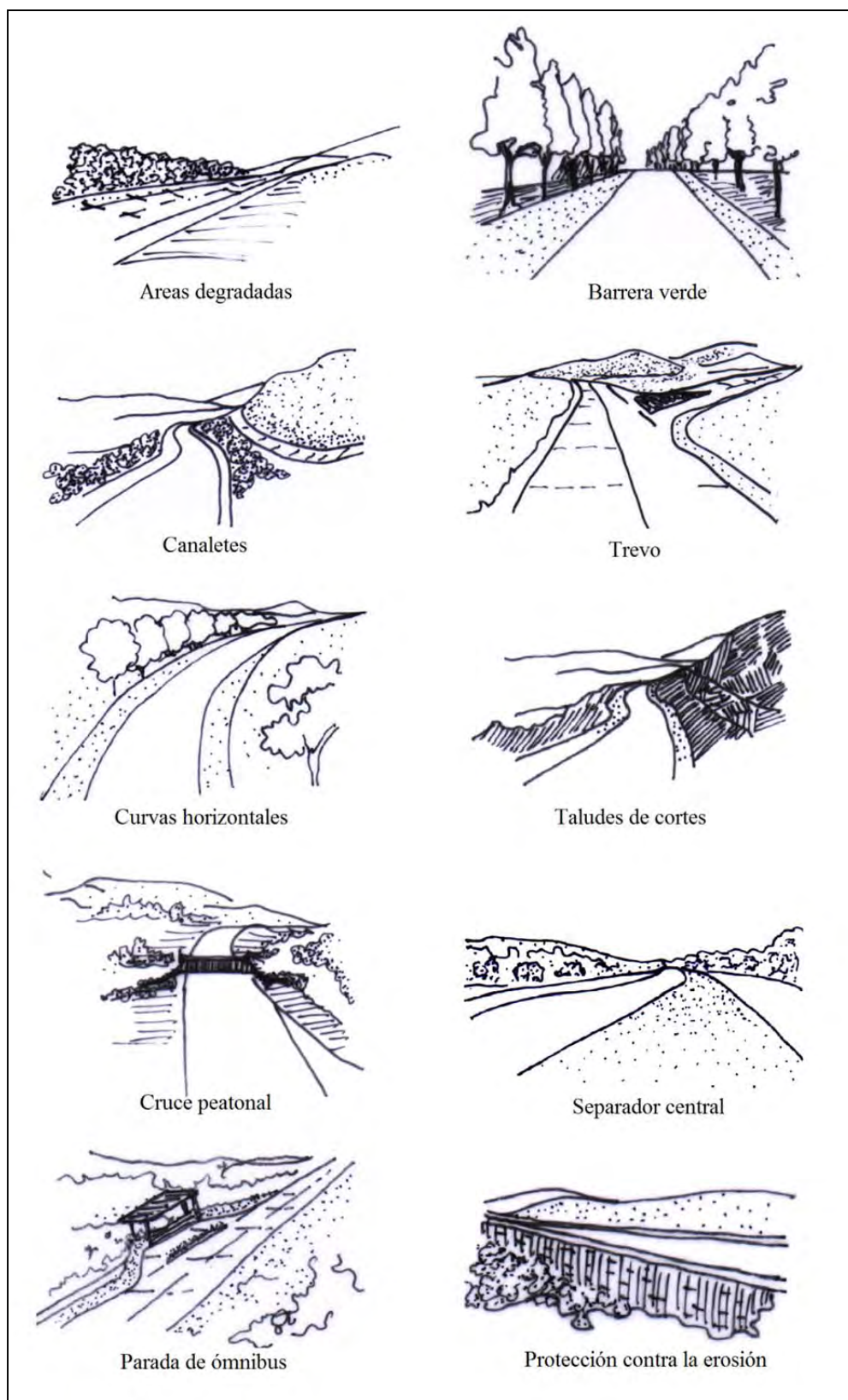


Figura 2b—Patrones paisajísticos de carreteras (basado en Dória 1973 y Göetzke 2000).

Resultados

Los resultados de los análisis de riesgo de incendios con los 22 patrones de paisaje de carretera se muestran en la tabla 1. Se observa que el 54,5% (12) tienen patrones de alto riesgo, 27,3% (6) de bajo riesgo y 18,2% (4) presentan riesgo medio de incendios forestales.

Tabla 1 - Análisis del riesgo de incendios en 22 patrones paisajísticos de carreteras.

Patrón paisajístico de carretera	Risco		
	A	M	B
Tangente para fajas de dominio estrechas (< 25 m)	x		
Tangente para fajas de dominio ancho (> 25 m)	x		
Estación de combustible	x		
Terrazas		x	
Relleno		x	
Retorno			x
Zonas industriales	x		
Vegetación arbórea existente	x		
Tiendas comerciales en calles marginales	x		
Placas de señalización			x
Puentes			x
Áreas degradadas	x		
Barrera verde	x		
Canaletes		x	
Trevos			x
Curvas horizontales / defensas vivas		x	
Taludes de cortes	x		
Cruce peatonal			x
Separador central con Barreira contra Luz	x		
Separador central sin Barrera contra Luz	x		
Parada de ómnibus	x		
Protección contra la erosión			x

LEYENDA: A = alto; M = medio; B = bajo.

Discusión

Caracterización del riesgo alto de incendios

Fueron considerados de alto riesgo de incendios los patrones de paisaje de la

carretera que presentan en sus límites un tipo de vecindad que ofrece una constante amenaza por la presencia de fuentes de ignición en las actividades de administración de tierra en propiedades agrícolas, pecuarias o forestales, como es el caso de las áreas tangentes a las fajas de dominio anchas o estrecha de las carreteras.

Los patrones de "Estación de combustible", "Tiendas en calles marginales" y "Paradas de ómnibus" son considerados las estaciones de servicio de las autopistas. Segundo Biondi (2002), las estaciones de servicio comprenden todos los servicios necesarios para la comodidad y seguridad de los usuarios de la carretera, tales como: punto de control, estación de combustible, restaurantes, tiendas y otros. Estas construcciones deben ser enmarcadas en el paisaje acompañadas de tratamiento paisajístico. El alto riesgo de incendios para estos patrones no está asociado con el tratamiento paisajístico de los locales, pero por la presencia constante del hombre (antropismo), la intensidad del tráfico vehicular y materiales inflamables como: combustible (gasolina, diesel y etanol); electrodomésticos y equipos electrónicos (refrigerador, aire acondicionado, ventiladores, fogones y otros) sujetos a accidentes que pueden iniciar incendios y la generación de residuos o basura (colillas, papel, plástico, cartón y madera) que puede aumentar la cantidad de material combustible.

En el patrón "Áreas industriales", independientemente del tipo de producción, este sitio y sus alrededores, agregan muchos factores que aumentan la susceptibilidad a los incendios, tales como: actividades humanas, intensidad del tráfico vehicular y materiales inflamables.

El riesgo de incendios en los patrones "Vegetación arbórea Existente" y "Barrera verde" dependerá de las características de las especies que los constituyen. El grado de riesgo va a estar asociado a la especie (inflamabilidad), composición (mezcla de especies) y diseño (espaciamiento o forma de agrupamiento).

En el patrón "Área degradada" el riesgo es mayor porque normalmente en estos lugares, debido a los diversos usos anteriores de la tierra (exploración minera, uso agrícola o forestal), quedan residuos que pueden contribuir tanto para la ignición como para la propagación de incendios.

El patrón "Taludes de cortes" proporciona alto riesgo de incendio no sólo por la utilización de especies inflamables, sino principalmente debido al relieve que puede favorecer la propagación del fuego.

En cuanto al patrón "Separador central con o sin barrera contra la luz", el riesgo de incendio está vinculado a la inflamabilidad de especies y principalmente debido al diseño, generalmente formado por una sola especie dispuesta de una manera continua horizontal y vertical. Así, el sitio presenta material combustible de fácil ignición, dependiendo de la estacionalidad y con distribución continua, lo que favorece la propagación de incendios.

Caracterización del riesgo medio de los incendios

El patrón "Terrazas" se refiere a las estructuras vinculadas a las rampas continuas de los taludes que sirven para prevenir el escurrimiento de las aguas superficiales para la plataforma de la carretera (CATI 2012). Para ese patrón se recomienda para el Paraná vegetación leve, capaz de sobrevivir la grave carencia de agua y la fertilidad del suelo, tratando de recubrir la mayor parte de la superficie del suelo. El riesgo medio de incendios de este patrón es principalmente debido a la característica de la estructura que es interrumpida verticalmente y el uso de vegetación rastrera (poco material combustible) en la extensión horizontal.

El patrón "Relleno" se define como: segmentos de las carreteras, cuya implementación requiere la acumulación de materiales obtenidos de cortes o préstamos (CATI 2012), proporcionando al lugar, condiciones extremas de humedad del suelo. Por esta razón generalmente para el tratamiento paisajístico es indicado una vegetación que contribuya con el drenaje y garantice su estabilidad, pudiendo ser arbustiva (a orillas de la carretera), césped (base del relleno) y arbórea (en la extremidad). Debido a la mezcla de hábito de vegetación (herbácea, arbustiva y arbórea) este patrón tiene riesgo medio de incendios forestales.

El patrón "Curvas horizontales / Defensas vivas" presenta riesgo medio de incendios en función del tratamiento paisajístico (inserción de árbol y arbusto) en estas áreas no puede ocupar ambos lados de la faja de dominio para no perjudicar la visibilidad del conductor.

El riesgo medio de incendios para el patrón "Canaletes" puede estar asociado tanto con la inflamabilidad de la vegetación que sirve como filtro para el agua que escurre de los taludes como por la disposición continua de vegetación que acompaña el canaleta.

Caracterización del riesgo bajo de incendios

El riesgo de bajo de incendios en los patrones "Retorno", "Trevos" y "Cruce peatonal" es debido a la mayor cantidad de área permeable que rodea estos patrones, proporcionando un aislamiento de la vegetación o material combustible.

Para los patrones de "Señales", "Puentes" y "Protección contra erosión", aunque la característica de la vegetación sea importante, la disposición discontinua del tratamiento paisajístico resulta en la disminución del riesgo de incendios.

Conclusiones

Se concluye que el análisis de riesgos establecido posibilitó discriminar los patrones de paisaje de la carretera en función de los factores asociados a la ignición y propagación del fuego.

Se concluye también que la evaluación del riesgo de incendios forestales en el planeamiento paisajístico de carretera debe ser una herramienta esencial para reducir los daños por el fuego en las áreas de la interfaz urbano-rural de Paraná-Brasil.

A partir de la caracterización del nivel de riesgo de incendio es posible planear la selección y la composición de especies menos inflamables ya que no es posible cambiar la estructura esencial del patrón carretera.

Teniendo en cuenta la inviabilidad del cambio de los patrones de carretera, debido a su funcionalidad, a partir de la caracterización del nivel de riesgo de incendio es posible planificar la selección y la composición de especies menos inflamables y que dificulten la propagación del fuego.

Sumario

Este estudio analizó el riesgo de incendios forestales en los patrones paisajísticos de las carreteras de Paraná, sur del Brasil. Los análisis fueron basados en los factores asociados con la ignición y la propagación del fuego, tales como: vegetación, relieve, microclima, diseño y disposición de estructura vial vertical y horizontal, intensidad del tráfico vehicular; tipo de vecindad o uso de la tierra y presencia humana. Los resultados indicaron que 54,5% (12) dos patrones paisajísticos presentan alto riesgo, 27,3% (6) presentan bajo riesgo y 18,2% (4) presentan riesgo medio de incendios forestales.

Agradecimiento

Al profesor Dr. Marcos P. R. Rodriguez por la ayuda en la revisión del español.

Referencias

- Biondi, D. 2002.** Seleção de species para o paisagismo rodoviário. Curitiba: FUPEF Séria Técnica 01/02. 24 p.
- Brasil. 2012.** Disponible en: <www.brasilazul.com.br/rodovias.asp>. Acceso em 08 de junho de 2012.
- CATI. 2012.** Disponible en: http://www.cati.sp.gov.br/Cati/tecnologias/manejo_conservacao_solo/EspecificacoesTecnicaSdeServico-AnexoI.pdf. Acceso em 08 de junho de 2012.
- Curt, T.; Delcros, P. 2010.** Managing road corridors to limit fire hazard. A simulation approach in southern France. *Ecological Engineering* 36(2010) 457-465.
- Curt, T.; Delcros, P. 2012.** Simulating fire ignition and initial propagation at road-forest interfaces. Disponible en: < http://www.fire.uni-freiburg.de/sevilla-2007/contributions/doc/cd/SESIONES_TEMATICAS/ST3/Curt_Delcros_FRANCIA.pdf >. Acceso en: 15/06/2012.
- Dória, R.A. 1973.** Como plantar árvores e arbustos nas estradas de rodagem. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. 23p.
- Gill, A. M.; Stephens, S.L. 2009.** Scientific and social challenges for the management of fire-prone wildland–urban interfaces. *Environ. Res. Lett.* 4 (2009) p. 1-10, doi:10.1088/1748-9326/4/3/034014.
- Göetze, S. 2000.** Paisagismo Rodoviário. In: Governo do Estado do Paraná – Secretaria de Transportes. Manual de Instruções Ambientais para Obras Rodoviárias. Curitiba, DER/UFPR/FUPEF:2000. P 179-222.
- Jappiot, M., Gonzales-Olabarria, J.R., Lampin-Maillet, C., Borgniet, L. 2009.** Assessing wildfire risk in time and space. In: Birot, Yves (Ed.), *Living with Wildfires: What Science can Tell Us? A Contribution to the Science-policy Dialogue*, p.41–47.
- Lampin-Maillet, C.; Long-Fournel, M.; Ganteaume, A.; Jappiot, M.; Ferrier, J.P. 2011.** Land cover analysis in wildland–urban interfaces according to wildfire risk: A case study in the South of France. *Forest Ecology and Management* 261 (2011) 2200–2213
- Radeloff, V. C.; Hammer, R.C.; Stewart, I.; Fried, J.S.; Holcomb, S.S.; McKeefry, J.F. 2005.** The wildland–urban interface in the United States. *Ecological Applications*, 15(3), pp. 799–805.
- Ribeiro, L.M.; Viegas, D.X.; Caballero, D. 2010.** Wildland Urban Interface - a diagnostic analysis for Portugal. Abstractcs - VI International Conference on Forest Fire Research - CD-ROM. Coimbra - Portugal : ADAI/CEIF - Ed. Domingos X. Viegas, 2010. v. 1. p. 1-11.
- Soares, R.V.; Batista, A.C. 2007.** Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo. Ronaldo Viana Soares e Antonio Carlos Batista Ed. Curitiba. 264p.

Avances en Manejo Integral del Fuego en el Centro de México¹

Dante Arturo Rodríguez Trejo² y Arturo Cruz Reyes³

Resumen

En este trabajo se refieren los resultados, tanto de investigación como operativos, de los esfuerzos que algunas comunidades rurales, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y otras organizaciones, han realizado en el centro de México para el manejo integral del fuego. La investigación incluye los resultados más recientes del Proyecto Ajusco de la Universidad Autónoma Chapingo, sobre el tema, tanto en ecosistemas mantenidos por el fuego, como en ecosistemas sensibles a éste. En el plano operativo se comenta la realización de talleres, reuniones y quemas prescritas orientados a tal tipo de manejo del fuego en el Distrito Federal y los estados de México, Tlaxcala y Puebla, organizados con señores productores por la CONAFOR y la UACH. Se trata de un esfuerzo conjunto entre productores rurales, organizaciones gubernamentales a escalas federal y estatal, y una institución de docencia e investigación. Se busca aportar a esta alternativa de manejo, a través de la fusión del uso ecológico del fuego, su empleo juicioso y de bajo impacto por parte de las comunidades rurales, y la prevención y combate de incendios forestales, potenciando todo tipo de impactos positivos y reduciendo los negativos.

Palabras clave: Incendios forestales, ecología del fuego, manejo comunitario del fuego, investigación en incendios.

Introducción

A pesar de su pequeño territorio, de casi 150,000 ha, el Distrito Federal es la entidad federativa con mayor población humana del país. Ahí se concentra también la mayor cantidad de incendios. No es raro tener años con más de 1,000 siniestros. No obstante, la mayoría son pequeños, pues la Comisión Nacional Forestal (del gobierno federal), y la Comisión de Recursos Naturales (del gobierno de la Ciudad de México), cuentan con recursos humanos, materiales y equipo especializado para

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, 5-11 de noviembre de 2012, Ciudad de México, México.

² Profesor-Investigador, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México, México. Email: dantearturo@yahoo.com.

³ Ingeniero Forestal, Jefe del Departamento de Incendios Forestales en el Distrito Federal, Comisión Nacional Forestal. Progreso 5, Col del Carmen Coyoacán, Coyoacán, Distrito Federal, México. Email: acruz@conafor.gob.mx.

realizar las tareas de manejo del fuego. Más del 40 % de las causas son agropecuarias. Productores queman pastizales abiertos o entre el bosque para promover la emisión de rebrotes, denominados “pelillo”, con los cuales complementar la dieta de sus animales durante la época seca del año. Los escapes de quemados de rastrojos agrícolas, empleadas para limpiar el terreno, fertilizarlo con las cenizas y reducir plagas potenciales, también forman parte de tales causas agropecuarias. Un 25 % de las causas incluye fogatas y cerillos mal apagados y colillas de paseantes y trabajadores en el campo (CONAFOR, 2012, CORENA, 2012).

Las zonas rurales del sur del Distrito Federal abarcan casi 89,000 ha, e incluyen unas 50,000 ha con vegetación forestal. Esta última incluye tanto vegetación mantenida por el fuego, como sensible e influenciada. Entre la primera se incluyen a pinares, encinares, matorrales y zacatonales. De los segundos se puede mencionar a escasos manchones de bosque mesófilo de montaña y al bosque de oyamel. Este último es considerado moderadamente adaptado al fuego por investigaciones recientes.

Los bosques del sur del Distrito Federal son de interfase urbana-forestal, proveen gran cantidad de servicios ambientales a la Ciudad de México, como control de tolvaneras, captura de agua y carbono, sitios para la recreación y el esparcimiento y el ecoturismo, entre otros.

En esta zona prevalece la problemática típica del resto del país y de muchas partes del mundo, de una gran cantidad de incendios provocados por causas agropecuarias, que tienen como base la pobreza y la necesidad de la gente del campo, pero también la falta de información. Pero también están sobrepuestos extensos ecosistemas que requieren del fuego para mantenerse saludables, como los mencionados, además de la producción de humos de incendios que contribuyen a contaminar la ya una de las más contaminadas ciudades del planeta.

Además, se ha estimado que el cambio climático global a niveles mundial y México, está extendiendo zonas secas, con mayor peligro de incendio. Lo anterior, aunado a la todavía lejana solución a la pobreza, deja ver un escenario futuro cercano y de mediano y largo plazos, de más incendios forestales, los cuales es necesario manejar desde sus componentes sociales y ecológicos, más allá de la prevención y combate que también seguirán siendo parte importante del manejo referido.

El anterior es el reto del manejo del fuego en la entidad y en el país, que sólo será adecuadamente resuelto cuando se use el fuego con fines ecológicos, de manejo y conservación, en los ecosistemas que lo necesitan, la gente utilice también de manera tradicional el fuego pero reduciendo al mínimo escapes y siguiendo la normatividad existente, así como eliminando las quemadas libres. De tal manera que los efectos positivos del fuego sean maximizados y los negativos (como la

contaminación del aire y la erosión) minimizados. Todo esto debe ser promovido y validado por la investigación por parte de universidades y centros de investigación, que además han tomado un papel muy activo en México. A esto se le denomina manejo integral del fuego.

En el año 2000, la Universidad Autónoma Chapingo inició el Proyecto Ajusco de la UACH, sobre ecología del fuego, manejo integral del fuego y restauración de áreas incendiadas. Las metas son las plasmadas en el párrafo anterior, además de promover la investigación sobre incendios, aumentar el número de tesis dedicadas al tema, formar más gente en materia de incendios forestales, retroalimentar cursos con la información generada, así como participar en talleres y congresos nacionales e internacionales, como el presente, para difundir los resultados. El objetivo del este trabajo es dar un panorama sintético de lo hasta ahora alcanzado por el proyecto y sus repercusiones.

Regiones de trabajo y alianzas

Aunque el proyecto comenzó sus investigaciones en la zona templado-fría del centro de México, ya ha trascendido a zonas tropicales y semiáridas. En total se ha trabajado o se está trabajando en 12 estados del país: Distrito Federal, Estado de México, Tlaxcala, Hidalgo, Puebla, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Quintana Roo, Campeche, Sonora y Coahuila.

En diversas formas, se ha hecho colaboración con instituciones y organizaciones internacionales como: Universidad de Arizona, Universidad del Norte de Arizona, Universidad de Colorado, Servicio Forestal de los Estados Unidos, Laboratorio de Ciencias del Fuego de Missoula, Montana, Natural Resources de Canadá, The Nature Conservancy, Universidad de Lérida, España y Universidad de Jaén, España. A nivel nacional, las alianzas han sido con CONAFOR, CONAFOR-D.F., CORENA, CONAFOR-Puebla, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Guerrero, Universidad Autónoma de Hidalgo, y CONANP. A continuación se señalan algunos de los aportes que ha realizado el proyecto. Las citas corresponden a miembros del equipo de trabajo.

Entre trabajos de profesores, tesis, artículos derivados de ambos y publicados en revistas internacionales o nacionales, libros, capítulos de libros y ponencias en eventos, desde regionales hasta internacionales, se han realizado más de 60 publicaciones. Algunas más están en curso y aquí se referirán varias de las ya publicadas.

Aportes al componente ecológico del MIF

Información básica

En este sentido el equipo de trabajo ha contribuido, junto con otras organizaciones, incluido el gobierno federal, a que se acepte el papel ecológico del fuego en las áreas normativas y operativas de manejo del fuego en el país. Esto a través de conferencias, reuniones de trabajo, talleres, artículos científicos y ponencias en talleres. En esta particular área, el público han sido productores, niños, estudiantes desde secundaria hasta posgrado, personal operativo y normativo del manejo del fuego, profesores e investigadores. También se ha contribuido a determinar el nivel de relación con el fuego de los diversos tipos de vegetación en el país.

México es el país con mayor número de especies de pinos (47 taxa) y encinos (167 especies) a nivel mundial (Farjon y Styles, 1998, Zavala, 2007), y sus bosques cubren importantes extensiones. A través de adaptaciones al fuego como corteza gruesa, estado cespitoso, regeneración en áreas quemadas, crecimiento rápido, recuperación de follaje de la copa que fue deshidratado o chamuscado, la mayoría de las especies de pino mexicanas muestran adaptaciones al fuego. Entre los pinos con más adaptaciones a este factor ecológico y que tiene amplia distribución, están: *Pinus hartwegii*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. greggii*, *P. oocarpa*, y *P. michoacana*, entre otros. Los menos adaptados incluyen al grupo piñoneros, como *P. cembroides* (Rodríguez y Fulé, 2003) (Figura 1). Por cuanto toca a los encinos, de 73 especies analizadas y revisadas, también la mayoría mostró adaptaciones al fuego. Indicios morfológicos que dejan ver tales adaptaciones es distintas especies incluyen: capacidad de rebrotación, corteza gruesa, regeneración en sitios quemados, nuez pequeña, y hábito caducifolio. En general, los encinos de bosque mesófilo y de bosque tropical (salvo los que forman sabanas), son sensibles, por ejemplo *Q. insignis*. Entre las especies arbóreas adaptadas al fuego en México, están: *Quercus rugosa*, *Q. crassifolia*, *Q. crassipes*, *Q. magnoliifolia*, *Q. hypoleuroides* y *Q. arizonica*. Entre las arbustivas: *Q. frutex*, *Q. repanda*, *P. potosina* y *Q. microphylla*, entre muchas otras (Rodríguez y Myers, 2010).

También se han evaluado ecosistemas sensibles al fuego, como los bosques tropicales de la Reserva Selva El Ocote, Chis., luego de las 23,000 ha afectadas por incendios en 1998. A 7 años de los incendios, el número de especies arbóreas y su diversidad con base en el índice de Simpson (D), en las muestras de diferentes condiciones estudiadas, fue: bosque no quemado (45 especies, D=0.96), zonas que sólo se quemaron en 1998 (27, D=0.86), áreas quemadas en 1998 y restauradas con siembra directa (13, D=0.73), otras que quemadas en 1998 fueron restauradas pero se volvieron a quemar en 2003 (10, D=0.58), y otras más quemadas en 1998 y 2003 (13,

D=0.69). El área testigo presenta una ligera gradación en los valores de importancia entre las abundantes especies en el área no quemada. En cambio, unas pocas especies, típicas de sabana, dominan la menor riqueza presente en las áreas afectadas (Maldonado y otros, 2009). Se ha considerado al bosque de oyamel (*Abies religiosa*), el tipo de vegetación clímax de las zonas templadas de la entidad, como moderadamente adaptado al fuego. Proclive a incendios de copa en años secos, como 1998 y 2011, uno de estos incendios afectó 200 ha en la comunidad de Topilejo, D. F., en 2011. Ahí se determinó una mortalidad de 73.1% y, con modelos logísticos se estimó la probabilidad de mortalidad del arbolado. Las variables de estructura: altura ($p>0.0001$), diámetro normal ($p=0.028$), longitud de copa ($p<0.0001$) y altura a la base de la copa ($p>0.0001$) explicaron, con una relación inversa, la mortalidad. En cambio, se halló una relación directa con las variables de severidad: altura letal ($p<0.0001$) y porcentaje de chamuscado de copas ($p<0.0001$) (Temiño y otros, en proceso) (Figura 2).

La avifauna de áreas incendiadas fue estudiada en un bosque *Quercus crassifolia* de Chignahuapan, Puebla. En tal trabajo se detectó que un colibrí, *Hylocharis leucotis*, prefiere áreas incendiadas severamente donde halla la especie *Bouvardia ternifolia*, con flor de forma tubular de donde obtiene el néctar (Ponce y otros, 2011). Una propuesta general de regímenes de fuego y ecología del fuego para la vegetación mexicana fue elaborada también (Rodríguez, 2008).



Figura 1— Rodal de *P. hartwegii*, en México central, donde se realizó quema prescrita de bajas intensidad y severidad siete meses antes. Foto por Dante A. Rodríguez T. (2006).



Figura 2- Efectos de un incendio de copas en México central, sobre bosques de oyamel, *Abies religiosa*, seis meses antes. Foto por Dante A. Rodríguez T. (2011).

Aplicaciones

En este caso, además comprender mejor la ecología del fuego en especies y regiones de interés, la estrategia es contar con aplicaciones y guías que sean de utilidad a la hora de realizar quemas prescritas y que contribuyan a maximizar los efectos benéficos y minimizar los impactos negativos del fuego. Por ejemplo, Rodríguez y otros (2007) señalan a partir de modelos logísticos, que las quemas prescritas de baja intensidad (temprano por la mañana, en contra de viento y pendiente), a más tardar a mediados de temporada, prácticamente no generan mortalidad en árboles jóvenes de *P. hartwegii*, mientras que la quema intensa (por la tarde y a favor de viento y pendiente), que simula un incendio, elimina más de 80 % de los individuos. En términos probabilísticos, a menor diámetro normal, todos los tratamientos tienen mayor probabilidad de mortalidad, pero ésta es mucho más acusada en los tratamientos de fines de temporada, a elevada intensidad (favor de pendiente y viento, quema por la tarde) y en masas densas. Por ejemplo, un árbol con 10 cm de

diámetro normal, tiene una probabilidad de mortalidad de mortalidad $< 1 \%$ si se quema de manera prescrita a mediados de temporada, por la mañana y a baja intensidad (en contra de pendiente y viento) en masas abiertas. En cambio, un árbol de la misma dimensión quemado con el tratamiento intenso, en masas densas y en mayo, tendrá una probabilidad de mortalidad de 50% . Se considera que estos resultados son aplicables a la mayoría de los pinos de clima templado frío en el país. El modelo resultante fue:

$$P = 1 / (1 + \exp - (-2.3145 + 2.2619X1 + 2.00528X2 + 2.0343X3 - 0.4119X4))$$

donde: X1 es época del año (0=marzo, 1=mayo), X2=intensidad (0=baja, 1=alta), X3=densidad(0=baja, 1=alta), X4=diámetro normal (cm).

P. hartwegii es resistente al fuego, pero *Q. crassifolia* es tolerante. Para esta última especie, en zonas incendiadas con alta severidad, Juárez y otros (2012) señalan que la probabilidad de mortalidad para la parte aérea de un encino también con 10 cm de diámetro, es de 30% . Sin embargo, la probabilidad de todo el individuo (incluida su raíz) es de solamente 5% , pues es capaz de emitir rebrotes. Acorde con estos autores, la probabilidad de emitir rebrotes incrementa con la altura letal (pues al afectar yemas que contienen auxinas se eliminan estas fitohormonas y con ellas la inhibición para activar yemas basales) y conforme se reduce el diámetro de los árboles (los juveniles son más vigorosos). Por otro lado, acorde con Temiño y otros (en proceso) para la especie moderadamente adaptada al fuego, *Abies religiosa*, en un área afectada por incendio de copas 6 meses antes, un árbol con 10 cm de diámetro normal, tiene una probabilidad de mortalidad igual a 80% .

Como parte de las respuestas ecológicas en los pinares, está una mayor riqueza y diversidad de especies en el sotobosque. Hernández y Rodríguez (2008), Espinoza y otros (2008) e Islas (en prensa) demuestran que un año luego de la quema tal riqueza aumenta aproximadamente 40% , con respecto al testigo, que alcanza 60% al segundo año y al tercero se reduce a un 50% adicional. Otra contribución estriba en la estimación de carga total (CT) o carga de determinados tipos de combustibles forestales, por ejemplo los leñosos, a partir de modelos que utilizan variables explicativas de la estructura de la masa, como el área basal (AB), según proponen Rodríguez y otros (2009):

$$CT = 2.462 + 9.5553 \ln AB$$

Aplicaciones en el componente de prevención y combate de incendios del MIF

Entre los trabajos realizados en este sentido, están el de Carrillo y *otros* (2011), así como los de UACH-CONAFOR (2008) y el de Rodríguez y *otros* (2011), sobre los efectos y peligro de incendio derivado del Huracán Dean. En el primero se establecieron áreas de peligro de incendio en el estado de Puebla, según se detalla en el siguiente subtítulo. En los dos últimos, se determinaron cargas de combustibles apeados por el Huracán Dean en 2007 y su distribución espacial, así como zonas de peligro y prioridad de atención a partir de cargas de combustibles y distancia a zonas agropecuarias.

En el estudio UACH-CONAFOR (2011), se establece que, dadas las peculiares características del Distrito Federal en materia de incendios, que combinan la misma presión rural que en el resto del país, más la presión de la Ciudad de México, de no combatirse los incendios, prácticamente las 58,000 ha boscosas de la entidad serían afectadas por el fuego cada año.

Aportes al componente social del MIF

Dimensiones humanas y fuego

Para Puebla, Carrillo y *otros* (2012) hallaron que fue modelado el efecto tanto de variables ambientales (precipitación y exposición) como antrópicas (número de ramales de caminos y cercanía a comunidades rurales), que influyen la probabilidad de presencia de incendios en la entidad (Carrillo y *otros*, 2012). En este caso, tiende a haber más incendios en localidades con mayor precipitación (donde se acumulan más combustibles) sobre las exposiciones sur (más secas), en áreas con muchos ramales y pocas comunidades.

Derivado de un proyecto UACH-CONAFOR (2007), Rodríguez y *otros* (2008) refieren una relación inversa entre diversos parámetros de incendios forestales con el índice de desarrollo humano, así como una relación directa con: superficie de áreas perturbadas por el hombre, número de productores apoyados en el ciclo de primavera-verano para la producción agrícola, y velocidad máxima del viento.

Aplicaciones

Aquí se busca: A) La socialización de la información generada para que llegue a las comunidades rurales y pueda serles de utilidad B) Contribuir en la aplicación de quemadas controladas para conseguir efectos similares a los demostrados experimentalmente, y C) equipar los beneficios derivados del fuego y contrastar los

efectos negativos, entre quemas prescritas e incendios forestales. De esta última forma se busca desincentivar el uso indiscriminado del fuego y la incorporación del uso rural del fuego en comunidades donde no hay un conocimiento empírico de este tipo. Para ello se han realizado algunos esfuerzos con comunidades rurales, con productores o brigadistas que pertenecen a comunidades, o brigadistas comunitarios, como por ejemplo:

- Taller de incendios y quemas prescritas con ejidatarios de Chignahuapan, Pue., 2000, auspiciado por los Servicios Técnicos Forestales de la Sierra Norte de Puebla.
- Curso-Taller de incendios forestales con combatientes del estado de Puebla en Huauchinango, Pue., en 2001, auspiciado por INIFAP.
- Curso-Taller de incendios forestales con combatientes del estado de Puebla, en Chignahuapan, Pue., en 2003, auspiciado por CONAFOR-Puebla y la Secretaría del Ambiente de Puebla.
- Taller introductorio de MIF en Villas de Santa Clara, Talxcala, 2009, auspiciado por la CONAFOR.
- Participación en Encuentro sobre investigación y experiencias comunitarias en la Delegación Tlalpan, auspiciado por CORENA, Gob. del D. F., en 2012.

En este componente, Chavarría (2009) y Ortiz (2009), analizaron las prácticas de pastoreo en México central, el rendimiento y capacidad de carga del pastizal en bosques de *P. hartwegii* y los objetivos precisos de quema en el uso del fuego por ganaderos.

En los talleres mencionados y otros, se ha socializado parte de la información disponible en forma de conferencias y prácticas, con retroalimentación por parte de los productores. Un esfuerzo reciente es la realización de una quema prescrita extensiva en terrenos de alta incidencia de incendios, que se sintetiza en el subtítulo “Aplicación de quemas prescritas hacia el MIF”.

Instalación de áreas demostrativas

Producto de las investigaciones o de talleres, se han instalado las siguientes áreas demostrativas, visitadas por productores, estudiantes e investigadores, donde se han podido constatar las bondades del fuego prescrito. En la mayoría de ellas se ha continuado o continúa con investigación de ecología y efectos del fuego a mediano plazo (se incluyen ubicación, superficie y año de instalación) (Figuras 3 y 4):

- Chignahuapan, Pue. (1 ha, 2000)
- Parque Nacional Ajusco, D. F. (4 parcelas, cada una con 1 ha, 2002)

- Parque Nacional Ajusco, D. F. (4 parcelas, cada una con 1 ha, 2006)
- Villas de Santa Clara, Tlax. (1 ha, 2009).
- Ajusco, D. F. (12 ha, 2012).

Esfuerzos en otros foros

Con el objeto por divulgar los los progresivos avances del proyecto, en todos estos años se han presentado en eventos como World Fire 2003, 2007 y 2011 en Sidney (Australia), Sevilla (España) y Sun City (Sudáfrica), así como en el congreso mundial de ecología del fuego en Savannah, Georgia (USA, 2009). Ver por ejemplo, Rodríguez (2010, 2011).



Figura 3— Quema prescrita realizada con ejidatarios en Chignahuapan, Pue. Foto por Dante A. Rodríguez T., 2000.



Figura 4- Quema prescrita realizada con comunidades en Villas de Santa Clara, Taxcala. Foto por Dante A. Rodríguez T., 2009.

También se participado con The Nature Conservancy (TNC) en diversos talleres en América Central, entre los años 2002 y 2006 orientados a ecología y manejo integral del fuego, así como con CONAFOR (varias Expo Forestales, eventos estatales), CORENA (eventos a nivel D. F.), y otras organizaciones gubernamentales, no gubernamentales, así como universidades (UNAM, Universidad Autónoma de Guerrero, Universidad Autónoma de Puebla, Universidad de Hidalgo).

Aplicación de quemas prescritas hacia MIF

Las realizadas en talleres tienen esta perspectiva. Pero a continuación se detalla una, la última y más extensa, realizada en México central. Esta quema prescrita, orientada a MIF, se realizó en terrenos de una comunidad, con autorización de la misma y participación de brigadistas pertenecientes dicha comunidad. Se optó por un área con alta incidencia de incendios forestales, además de terreno difícil. Tales dificultades estribaron en terreno con abundantes lomeríos, lo que implicó irregularidad topográfica del terreno. En el sitio, casi durante todo el año soplan vientos de diferentes direcciones a lo largo del día y con distintas velocidades, tendiendo a aumentar conforme el día avanza. Los combustibles son principalmente pastizal, pero con arbolado juvenil en manchones en distintas áreas. El arbolado (*Pinus hartwegii*)

adulto está presente de mediana a baja densidad.

La quema prescrita de 12 ha fue dirigida y conducida por personal de la CONAFOR y de la UACH. Los objetivos de la misma, fueron:

- Reducir los combustibles forestales para abatir peligro de incendio y proteger del fuego al arbolado juvenil.
- Producir forraje para el ganado de los pastores, que suelen iniciar incendios en la zona, sin afectación importante del arbolado.
- Contribuir a mantener el hábitat para fauna silvestre y el cumplimiento del papel ecológico del fuego.
- Buscar una sinergia con productores, para quemar a baja intensidad y desincentivar paulatinamente la generación de incendios forestales.
- Obtener de manera extensiva, beneficios determinados experimentalmente, como: mínima mortalidad de arbolado, incluido el juvenil, baja afectación de copas del arbolado, promoción de la diversidad de especies del sotobosque y reducción de combustibles forestales.

En los meses de marzo y abril de 2012 fue desarrollada la quema prescrita experimental, en dos etapas, con la participación de 30 elementos en diferentes momentos. La primera etapa fue para quemar una banda amplia, de 2 ha, sobre una ladera muy pronunciada y hacia la que con frecuencia se dirigen los vientos. Sirvió como área de seguridad para tratar el resto del terreno. La segunda etapa fue la quema extensiva.

La variación topográfica y de viento hacen no viable aplicar un técnica tradicional, pues finalmente el fuego encontraría viento a favor y/o pendiente a favor sobre los cuales se desarrollaría más intensamente, afectando de manera negativa al arbolado juvenil y, en alguna medida, también al arbolado adulto.

Por tal razón se hizo una adaptación entre las técnicas tipo chevrón y en contra, pues se comenzó a quemar en una franja ligeramente irregular, siguiendo el parteaguas de los lomeríos, para tratar estos últimos siempre en contra de la pendiente y a favor o en contra del viento, o con éste incidiendo perpendicularmente, según el caso. Antes de que el fuego comenzase a ascender otras laderas, se comentaba a quemar una siguiente línea a partir del siguiente parteaguas, de manera que, aproximadamente se fue trabajando en líneas. Sobre la gran mayoría del terreno se consiguió tener baja intensidad y severidad.

De acuerdo con la prescripción, en general se logró quemar con largos de llama de 0.5 a 1 m, en particular en todo el perímetro del terreno. En algunos pequeños sectores interiores el largo de llamas fue superior. En tales casos se adelantó, la quema de combustibles en la dirección de avance del fuego, para reducir la

intensidad. Siempre se mantuvo el avance por líneas a partir del parteaguas (Figuras 5-9).



Figura 5— Quema prescrita en curso en Ajusco, D. F. Foto por Dante A. Rodríguez T., 2011.



Figura 6— Quema prescrita en curso. Foto por Dante A. Rodríguez T., 2011.



Figura 7— Quema prescrita terminada. Foto por Dante A. Rodríguez T., 2011.



Figura 8— El área de quema prescrita (mitad izquierda) seis meses después. Foto por Dante A. Rodríguez T., 2011.



Figura 9— El equipo de trabajo. Foto por Dante A. Rodríguez T., 2012.

En la actualidad se le da seguimiento al área en términos de investigación (por ejemplo, estudio del efecto de la quema en el crecimiento en altura del arbolado juvenil y rebrotación en el mismo) y de uso del área por personas de la comunidad (cualitativamente). También el área sirve como demostrativa y en esta zona, en años futuros se planea realizar más quemas prescritas, con el objetivo de contribuir a reducir los incendios y maximizar diversos tipos de beneficio del fuego en estos bosques que lo necesitan como factor ecológico, donde es ampliamente usado por los habitantes de estas zonas rurales, donde por la influencia de los ciudadanos (colillas, fogatas) también son producidos los incendios. Todo en el marco de la gran Ciudad de México, una de las más contaminadas del planeta, y que demanda los servicios de estos bosques.

Conclusiones

El proyecto ha sido uno de los esfuerzos que han contribuido a incrementar la información sobre ecología del fuego y uso del fuego en el país, y uno de los impulsores pioneros en manejo integral del fuego. El esquema de investigación mediante tesis ha mostrado ser efectivo y contribuye a la formación de más profesionales relacionados con la temática de incendios forestales. El reto es continuar aportando en esta dirección, pero con nuevas temáticas, además de seguir contribuyendo al componente social.

Referencias

- Bonilla P., E., Rodríguez Trejo, D.A., Borja de la Rosa, A., Cántora G., C., Santillán P., J.** Dinámica de combustibles en rodales de encino-pino de Chignahuapan, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* (aceptado).
- Carrillo G., R.L., Rodríguez Trejo, D.A., Tchikoué, H., A. I. Monterroso R., Santillán P., J. 2012.** Análisis espacial de peligro de incendios forestales en Puebla, México. *Interciencia* 37(9): 678-683.
- Chavarría Sánchez, M.R. 2009.** Quema prescrita en bosque de *Pinus hartwegii* y su impacto en el potencial forrajero como aporte al manejo integral del fuego. Tesis Maestría en Ciencias. Programa de Posgrado, DICIFO, UACH. Chapingo, Edo. de Méx. 82 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2012.** Reporte de incendios forestales. URL : <http://www.conafor.gob.mx/portal/>
- Contreras Moctezuma, J., Rodríguez Trejo, D.A., Retama Hernández, A., Sánchez Rodríguez, J. de J. 2003.** Humo de incendios forestales en bosques de *Pinus hartwegii*. *Agrociencia* 37(3): 309-316.
- CORENA (Comisión de Recursos Naturales). 2012.** Reporte de incendios forestales. Inédito.
- Espinoza M., A., Rodríguez Trejo, D.A., Zamudio S., J.F. 2008.** Sinecología del sotobosque de *Pinus hartwegii* dos y tres años después de quemas prescritas. *Agrociencia* 42(6): 717-730.
- Farjon, A., Styles, B.T. 1997.** *Pinus* (Pinaceae). Flora Neotropica. Monograph. 75. New York Botanical Garden. New York. 291 p.
- González Rosales, A. y Rodríguez Trejo, D.A. 2004.** Efecto del chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro de *Pinus hartwegii*. *Agrociencia* 38(5): 537-544.
- Islas M. G. E., Rodríguez Trejo, D.A., Martínez H., P. A.** Diversidad del sotobosque y radiación solar en un bosque de *Pinus hartwegii* con quema prescrita. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* (aceptado).
- Juárez Martínez, A. y Rodríguez Trejo, D.A. 2003.** Efecto de los incendios forestales en la regeneración natural de *Pinus oocarpa* var. *ochoterena* Martínez. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(2): 125-130.
- Juárez B., J.E., Rodríguez Trejo, D.A., Myers, R.L. 2012.** Fire tolerance of trees in oak-pine forest at Chignahuapan, Puebla, Mexico. *International Journal of Wildland Fire* 21(7): 873-881.
- Maldonado Méndez, M. de L., Rodríguez Trejo, D. A., Guízar Nolasco, E., Velázquez Martínez, J., Náñez Jiménez, S. 2009.** Reducción en la riqueza de especies arbóreas por incendios en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas. *Ciencia Forestal en México* 34(106): 127-148.
- Martínez Hernández, H.C., Rodríguez Trejo, D.A. 2008.** Species diversity after prescribed burns at different intensities and seasons in a high altitude *Pinus hartwegii* forest. *Interciencia* 33(5): 337-344.
- Myers, R. L., Rodríguez Trejo, D.A. 2009.** Fire in tropical pines. In Cochrane, M. (ed.). *Tropical fire ecology: Climate change, land use and ecosystem dynamics*. Springer-Praxis. Heidelberg, Germany. pp. 557-605.
- Neri Pérez, A. C., Rodríguez Trejo, D.A., Contreras Aguado, R. 2009.** Inflamabilidad de combustibles forestales en las selvas de Calakmul, Campeche. *Universidad y Ciencia* 25(2): 1-12.

- Ortiz Contla, H. 2009.** Análisis del manejo tradicional de pastizales con fuego en el Ajusco. Tesis Maestría en Ciencias. Programa de Posgrado, DICIFO, UACH. Chapingo, Edo. de Méx.
- Ortiz Rodríguez, J. N., Rodríguez Trejo, D.A. 2008.** Supervivencia y crecimiento de una plantación de *Pinus hartwegii* en áreas quemadas. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente XIV(2): 89-95.
- Ortega Baranda, V., Rodríguez Trejo, D.A. 2007.** Supervivencia y crecimiento iniciales y concentración de nutrimentos de *Pinus hartwegii* Lindl. plantado en localidades quemadas. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 13 (2): 115-124.
- Ponce C., L., P., Aguilar V., B. C., Rodríguez Trejo, D.A., López P., E., Santillán P., J. 2012.** Influencia del fuego en la riqueza y diversidad de aves en un bosque de encino-pino de Chignahuapan, Puebla. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(10): 65-76.
- Ramírez Contreras, A.; Rodríguez Trejo, D.A. 2009.** Plantas nodriza en la reforestación con *Pinus hartwegii* Lindl. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 15(1): 43-48.
- Rodríguez Trejo, D.A. 1996.** Incendios forestales. Mundi Prensa-UACH-INIFAP. México, D. F. 630 p.
- Rodríguez Trejo, D. A. 2001.** Ecología del fuego en el ecosistema de *Pinus hartwegii* Lindl. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 7(2): 145-151.
- Rodríguez Trejo, D.A. 2002.** Efecto del fuego en el crecimiento en diámetro de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente VIII(1): 71-74.
- Rodríguez Trejo, D.A. 2004.** Investigación en manejo integral del fuego. Forestal XXI. 7(1): 45-46.
- Rodríguez Trejo, D.A. 2005.** Nuevos horizontes en el manejo del fuego. México Forestal 19 (Revista Electrónica). 3 p.
- URL: <http://www.mexicoforestal.gob.mx/editorial.php?id=23&laPublicacion=20>
- Rodríguez Trejo, D. A. 2006.** Ecología del fuego en bosques de coníferas. En: Flores G., G., Rodríguez Trejo, D. A., Estrada, O.; Sánchez Zárraga, F. (Coords.). Impacto ambiental de incendios forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Mundi Prensa, Colegio de Posgraduados. China. pp. 103-119.
- Rodríguez Trejo, D.A. 2007.** Manejo integral de incendios forestales. El proyecto Ajusco, un ejemplo. Extensión al Campo 1(3): 41-45.
- Rodríguez Trejo, D.A. 2007.** Fuego. En: Cibrián Tovar, D. y otros Enfermedades forestales en México. UACH, CONAFOR, USDA FS, CFS, NRC, COFAN. pp. 42-50.
- Rodríguez Trejo, D.A. 2008.** Fire ecology, fire regimes and fire management in Mexico. Ambio 37(7-8): 548-556.
- Rodríguez Trejo, D.A. 2012.** Génesis de los incendios forestales. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 18(3): 357-373.
- Rodríguez Trejo, D.A. 2009.** El fuego y sus efectos en los árboles. En: Flores G., G. (Coord.). Impacto ambiental de incendios forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Mundi Prensa, Colegio de Posgraduados. China. pp. 103-119.
- Rodríguez Trejo, D.A. 2011.** ¿Qué investigación es necesaria para restaurar los bosques de clima templado-frío de México? Seminario: Necesidades de investigación para la restauración de bosques de México. Congreso Mundial de Restauración Ecológica. Agosto de 2011. Mérida, Yucatán.

- Rodríguez Trejo, D.A. 2011.** Panelista en el “Seminario Internacional sobre Evaluación de Políticas Públicas Forestales” (Panel Incendios Forestales). México, D. F. CONAFOR, ITTO, PHUMA, SEMARNAT. 4 y 5 de agosto de 2011.
- Rodríguez-Trejo, D.A., Myers, R.L. 2010.** Using characteristics of oaks as guides to restoring fire regimes in Mexican pine-oak and oak forests. *Ecological Restoration* 28(3): 304-323.
- Rodríguez Trejo, D. A., Rodríguez A., M., Fernández S., F. y Pyne, S. J. 2000.** Educación e incendios forestales. Mundi Prensa. México, D. F. 201 p.
- Rodríguez Trejo, D.A., Martínez Hernández, H. C., Ortega Baranda, V. 2004.** Ecología del fuego en el ecosistema de *Pinus hartwegii*. En: Villers R., L. y López B., J. (eds.). Incendios forestales y sus efectos en el ambiente. UNAM. México, D. F. pp. 107-124.
- Rodríguez Trejo, D.A., Santillán Pérez, J., Tchikoué Maga, H. 2006.** El perfil del combatiente de incendios forestales en México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12(1): 79-86.
- Rodríguez Trejo, D.A., Castro Solís, U.B., Zepeda Bautista, E.M.A., Carr, R.J. 2007.** First year survival of *Pinus hartwegii* Lindl. in burned areas in different times. *International Journal of Wildland Fire* 16: 54-62.
- Rodríguez Trejo, D.A., Tchikoué Maga, H., Santillán Pérez, J. 2007.** Emisiones contaminantes durante la temporada 2003 de incendios forestales en México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13 (1): 33-40.
- Rodríguez Trejo, D.A., Ramírez M., H., Tchikoué, H., Santillán P., J. 2008.** Factores que inciden en la siniestralidad de los incendios forestales *Ciencia Forestal en México* 33(104): 37-58.
- Rodríguez Trejo, D.A., Rodríguez Aguilar, M., Villanueva Morales, A., Bonilla Padilla, E. 2010.** Forest structure indicators as estimators of forest fuels load in an oak-pine forest. In: Viegas, Domingo Xavier (ed.). Abstracts of the VI International Conference on Forest Fire Research. 15-18 November 2010. Publicado por Associacao para o Desenvolvimento da Aerodinamica Industrial (ADAI) , Centro de Estudos sobre Incendios Florestais (CEIF). Coimbra Portugal. P. 45.
- Rodríguez Trejo, D.A., P. A. Martínez Hernández, H. Ortiz Contla, M. R. Chavarría Sánchez, F. Hernández Santiago. 2011.** The present status of fire ecology, traditional use of fire and fire management in Mexico and Central America. *Fire Ecology* 7(1): 40-56.
- Rodríguez Trejo, D.A., Hernández S., F., Juárez B., J.E., Ortiz C., H., Chavarría S., M. R., Martínez H., P.A., Pérez M., J., A. Vázquez A. 2011.** Wildfire 2011. Sun City, South Africa, May 9-13, 2011.
- Rodríguez-Trejo, D. A., Tchikoué, H., Cántora-González, C., Contreras-Aguado, R., de la Rosa-Vázquez, A. 2011.** Combustibles forestales, peligro de incendio y áreas prioritarias de protección en las zonas afectadas por el Huracán Dean. *Agrociencia* 45: 593-608.
- Rodríguez Trejo, D.A., Martínez, A., Mendoza B., C., García, F., Herrera, C., Rafael de J., A. 2012.** Microsites and seedling quality in restoration. *Acta Botanica Gallica* 159(3): 299-301.
- Schilisky, A., Waugh, J., González, P., González, M., Manta, M., Santoso, H., Alvarado, E., Nuruddin, A. A., Rodríguez Trejo, D.A., Swaty, R., Schmidt, D., Kaufmann, M., Myers, R., Alentar, A., Kearns, F., Jonson, D., Smith, J., Zollner, D., Fulks, W. 2007.** Fire, ecosystems and people: Threats and strategies for global biodiversity conservation. TNC. GFI Technical Report 2007-02. Arlington, VA. 20 p.

- Sosa Pérez, G., Rodríguez Trejo, D.A. 2003.** Efecto de la calidad de planta en la supervivencia de *Pinus patula* en un área quemada. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(1): 35-43.
- Temiño, S., Rodríguez Trejo, D.A., Molina, D., Fulé, P.Z., Ryan, K.** Modelación de la mortalidad inicial de *Abies religiosa* en un incendios de copas en México. (en proceso).
- UACH-CONAFOR (Universidad Autónoma Chapingo-Comisión Nacional Forestal). 2008.** Programa de prevención y combate de incendios forestales y manejo del fuego en las áreas afectadas por el Huracán Dean en las áreas tropicales del sureste de México. UACH, CONAFOR. Inédito.
- UACH-CONAFOR (Universidad Autónoma Chapingo-Comisión Nacional Forestal). 2011.** Evaluación complementaria del ejercicio del programa E013, prevención y combate de incendios forestales, ejercicios fiscales 2008-2010. UACH, CONAFOR. Inédito.
- Vera Vilchis, V., Rodríguez Trejo, D.A. 2007.** Supervivencia e incremento en altura de *Pinus hartwegii* a dos años de quemas prescritas e incendios experimentales. Agrociencia 41: 219-230.
- Zavala Ch., F. 2007.** Guía de los encinos de la Sierra de Tepotzotlán, México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.

Adaptación de la Gestión Frente a Incendios en los Territorios de Riesgo Urbano-Forestal en España¹

Gema Herrero-Corral²

Resumen

La incidencia de incendios en los espacios de coincidencia entre estructuras edificatorias y vegetación forestal (interfaz urbano-forestal, IUF) genera emergencias de gran complejidad debido a la presencia de bienes y personas. Durante la última década en España, la ocurrencia de este tipo de episodios ha dado lugar a que el concepto de IUF haya sido incluido en las políticas autonómicas de gestión de incendios forestales y que, en determinados casos, haya tenido un desarrollo normativo específico.

En esta comunicación se apuesta por establecer una tipología de IUF a partir de los elementos y procesos que constituyen este tipo de espacios con el objetivo de adaptar la gestión frente a incendios a las características y necesidades concretas en cada caso. Por otro lado, se reconoce la necesidad de dar respuesta a este problema de forma integrada desde los diferentes sectores (política forestal y de incendios, protección civil, planificación espacial) y en las distintas fases de la gestión de incendios (previsión, prevención, extinción).

Palabras clave: adaptación, incendio forestal, instrumentos de planificación, interfaz urbano-forestal, gestión, legislación, Madrid, riesgo.

Introducción

En España, durante las últimas décadas, se ha producido un importante crecimiento de zonas urbanas, ocupando primero los espacios agrícolas próximos a los asentamientos de población y las zonas forestales más alejadas después. Este proceso ha potenciado la aparición de espacios de IUF. Entre 1987-2000 se estima un aumento de las superficies de IUF del 6.8% y entre 2000-2006 del 2.16%, alcanzando las 412.687 hectáreas de IUF³ (Herrero 2011).

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación, y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, nov 5-11 de 2012, Ciudad de México, México.

² Ingenieure de Recherche. INRA. Département Ecologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques. URFM. Domaine Saint Paul, Site Agroparc F-84914 Avignon, France. Email: gema.herrero-corral@avignon.inra.fr.

³ A partir de la cartografía de cubiertas del suelo del proyecto CORINE Land Cover 2006 (Instituto Geográfico Nacional).

Su configuración se ha producido coincidiendo con una serie de cambios socioeconómicos y políticos que han agravado el problema de los incendios forestales. Los procesos de despoblación de las zonas rurales, el abandono de tierras o la reducción de los aprovechamientos forestales tradicionales han ocasionado la evolución de los ecosistemas forestales hacia estructuras más peligrosas y de mayor combustibilidad, aumentando así el peligro de incendio asociado. Adicionalmente, el incremento del uso recreativo de las áreas forestales y la falta de políticas que regulen adecuadamente el uso del fuego en entornos forestales han ayudado a construir territorios con un elevado riesgo de incendio forestal (Vélez 2009). En este contexto, la expansión acelerada de la urbanización sobre espacios con vegetación forestal ha contribuido a generar nuevos escenarios de conflicto donde los incendios forestales se convierten en verdaderas emergencias de protección civil (Montiel y Herrero 2010).

La incidencia histórica de los incendios forestales en España es un hecho recurrente en cada época de verano (MARM 2009). Sin embargo, su incidencia y gravedad varía en cada zona y como tal debe recibir un tratamiento diferenciado. De la misma forma, la influencia que ejerce el patrón de distribución de IUF sobre el riesgo de incendios forestales no tiene la misma traducción en todos los ámbitos. Determinadas características del territorio relacionadas con la cubierta forestal y el sistema de asentamientos son suficientemente acusadas para influir no sólo en la extensión ocupada por los espacios de interfaz, sino también en su dinámica evolutiva y sus características asociadas al riesgo de incendios forestales.

La posibilidad de plantear una verdadera adaptación de la gestión de los espacios de IUF a las condiciones físicas y sociales que generan el problema en cada contexto regional requiere un conocimiento profundo de estos espacios para valorar previamente la situación y necesidades de gestión. Partiendo de la hipótesis que el riesgo de incendio depende no solo de la presencia de IUF, sino del tipo de IUF y las características del territorio en el que se localiza, esta comunicación apuesta por la caracterización y establecimiento de situaciones de IUF como una herramienta útil para plantear una gestión frente al riesgo de incendios forestales adaptada a las necesidades concretas de cada tipo de IUF.

Los objetivos concretos que se persiguen son: (i) valorar el grado de integración del concepto de IUF como territorio de riesgo de incendios forestales en la normativa e instrumentos de planificación en el contexto español; (ii) definir, delimitar y caracterizar los espacios de interfaz urbano-forestal atendiendo a las especificidades territoriales que adquiere el fenómeno para establecer una tipología y caracterización que permita una mejor planificación de su gestión frente a incendios forestales.

Área de estudio y método

El área de estudio se localiza en el sector oeste de la Comunidad de Madrid⁴. Sus características hacen que sea un ámbito de gran interés para el estudio de IUF como territorios de riesgo de incendios forestales. Por un lado, concentra una gran extensión de superficies forestales donde confluyen espacios intensamente urbanizados del borde metropolitano. Además, las dinámicas de crecimiento urbano sobre espacios forestales y el abandono de actividades agrarias ha potenciado la formación de IUF (37% de aumento entre 1987-2000) hasta concentrar en el año 2005 el 23% de las superficies de IUF madrileñas en poco más que el 9% de la superficie regional total (Herrero 2011). Por otro lado, la zona registró un aumento en el número de incendios entre 1989-2007, siendo el hombre en el 99% de los casos la causa de ignición. Por último, el 22.3% de los incendios se produjeron cerca de zonas edificadas y, en varias ocasiones, se registraron incidencias de protección civil (evacuaciones, daños a estructuras, cortes de electricidad y vías de comunicación, daños personales).

Durante las últimas décadas, la investigación europea sobre incendios forestales y, en concreto, el riesgo a la población, ha sido muy activa, conformando un cuerpo de investigación bien estructurado y con gran experiencia en el tema (Biro 2009). La capacidad para aprovechar estas investigaciones como base para estrategias y políticas futuras sobre la materia ha promovido que la comunidad científica reconozca la importancia de considerar aspectos políticos, y los incorporen como objetivos dentro de sus líneas de investigación con la finalidad de producir resultados científicos útiles para apoyar la toma de decisiones políticas (Agudo y Montiel 2009).

Esta aproximación a los espacios de IUF en el contexto de los incendios forestales a través del diagnóstico y valoración de los instrumentos jurídicos y políticos es un primer paso hacia el planteamiento de nuevos enfoques para su gestión. En este análisis, se han combinado metodologías cualitativas y cuantitativas para el estudio de los espacios de IUF respecto al riesgo de incendios forestales en el contexto español.

Primero, se presenta el contexto normativo y de planificación de incendios forestales en España para situar la gestión de los espacios de IUF frente a este tipo de riesgo, a partir de la recopilación de documentos normativos y de planificación relacionados con la gestión de incendios forestales y su posterior análisis crítico. Para ello, se ha tenido en cuenta que la gestión de los espacios de IUF frente a incendios forestales depende en gran medida del marco legal, institucional y político en el que se apoya (Simorangkir y otros 2003).

⁴ 40°50'00"N, 3°51'15"W ; 40°30'00"N, 4°11'15"W

En el caso de España, la descentralización político-administrativa establece la distribución de las competencias entre el Estado y las Comunidades Autónomas (CCAA), situando las responsabilidades sobre la gestión de incendios forestales y desarrollo normativo en el nivel autonómico y dejando al Estado la competencia para aprobar legislación básica (Fernández-Espinar 1991). Por ello, la diagnosis de la situación normativa parte de documentos aprobados a nivel nacional y regional.

Otro de los aspectos que determinan la gestión de los espacios de IUF frente al riesgo de incendios se refiere a la multisectorialidad con que este tema es tratado por las distintas políticas implicadas en la gestión de incendios forestales. La política de Protección Civil tiene como objeto la protección de vidas humanas y bienes en situaciones de emergencia, siendo los incendios forestales un tipo de riesgo que requiere de la elaboración de planes especiales. En la Política Forestal los incendios son considerados como una amenaza para los sistemas forestales; la normativa y planificación correspondiente suelen recoger un capítulo dedicado a los incendios forestales con medidas generales. De forma complementaria, en la mayoría de los casos, se ha desarrollado un marco legal y de planificación específico para los incendios forestales donde se recogen acciones concretas de prevención y lucha, y se profundiza en la gestión del riesgo asociado a edificaciones en medio forestal.

Junto con las políticas sectoriales de incendios, se reconoce la necesidad de considerar otras políticas espaciales con una gran influencia en el tema. En concreto, las políticas de ordenación territorial y urbanística tienen la capacidad para influir en la organización del uso del suelo y regular las condiciones de su ocupación. De esta forma, mediante la adopción del “Principio de Precaución” en la planificación territorial es posible minimizar las consecuencias potenciales de los incendios forestales sobre la población civil (Buxton y otros 2011).

Segundo, se procede al establecimiento de *Situaciones de IUF* a partir del estudio de los elementos estructurales que configuran el territorio y la identificación de las dinámicas que determinan su evolución bajo un enfoque propio del Análisis Geográfico Regional (Herrero y otros. 2012). Para ello, se han aplicado métodos de análisis espacial para la delimitación y caracterización de los espacios de IUF mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El proceso comienza con la cartográfica de los espacios de IUF y su posterior caracterización a partir de la integración de distintos tipos de IUF en el contexto territorial en el que se localizan. De esta forma, se obtiene información útil para planificar su gestión frente a incendios forestales (*fig. 1*).

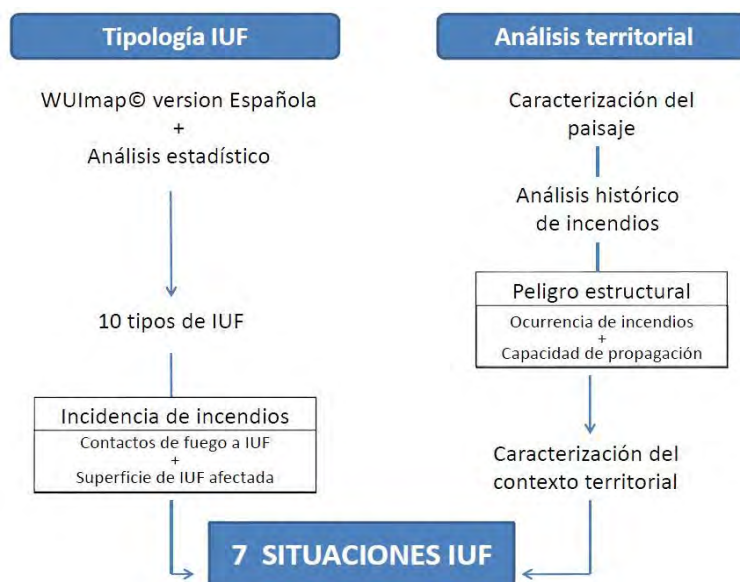


Figura 1—Proceso para la tipificación y caracterización de IUF.

Cartografía de los tipos de interfaz urbano-forestal

Los espacios de IUF han sido cartografiados y clasificados a partir de la configuración de las edificaciones y la estructura de la vegetación colindante (Lampin-Maillet y otros 2010). Los cálculos espaciales necesarios se hicieron con el software *WUImap*© (Lampin-Maillet y Bouillon 2011), desarrollado por el Instituto de Investigación Cemagref/Irstea. Para poder utilizar *WUImap*© en el contexto territorial español ha sido necesario realizar una serie de modificaciones que han dado como resultado *WUImap*© Spanish (2010).

A efectos de cálculo, se considera IUF a la superficie correspondiente a un buffer de 100 metros en torno a toda aquella edificación localizada en zona forestal o dentro del área de influencia forestal. Esta zona de influencia queda establecida en 400 metros a partir de las masas forestales (Herrero 2011). La clasificación de las superficies de IUF así delimitadas se obtiene mediante la integración de información del tipo de asentamiento (edificaciones aisladas, agrupación de edificaciones, urbanizaciones y núcleos urbanos) y la estructura horizontal de la vegetación forestal a partir del índice de agregación⁵ (*alto*, estructura con un grado de agregación fuerte y una elevada continuidad de la vegetación; *medio*, evidencia cierta dispersión de la vegetación forestal; *bajo*, no existe vegetación forestal o la agregación es nula). Mediante el análisis cluster de K-medias ha sido posible clasificar cada una de las

⁵ El índice de agregación de la vegetación se ha calculado con el software FRAGSTATS© (McGarigal 2002).

entidades de IUF en diez tipos⁶.

Posteriormente, se estudia la incidencia de incendios forestales a IUFs durante el periodo 2002-2008 a partir del número de contactos del fuego y la superficie de interfaz ardida, pudiendo así identificar los tipos de IUF más afectados por el fuego.

Caracterización del territorio en función del riesgo de incendio

El *contexto territorial*⁷ en el que se localizan las IUFs juega un papel fundamental en la gestión del riesgo de incendio. En muchos casos, la ocurrencia de incendios forestales y el comportamiento del fuego dependen de la propia estructura del paisaje que se traduce en una determinada organización de las cubiertas y usos del suelo (Mermoz y otros 2005, Lloret y otros 2002, Turner y Romme 1994). Por otro lado, las tramas paisajísticas tienen una gran influencia en los patrones de asentamiento residencial ya que es la propia estructura del parcelario rural la que sirve de base a este proceso, dando lugar a tramas mixtas urbano/agrícolas que evolucionan hacia IUF. Además, el carácter del paisaje en el que se insertan aporta información sobre la dinámica previsible en los usos del suelo y la evolución de la vegetación (especialmente procesos de regeneración natural) que resulta de gran interés para valorar la variación de los niveles de riesgo (Galiana y otros 2007). De esta forma, el estudio de la estructura y composición del paisaje es útil para analizar la ocupación del suelo y los cambios experimentados en el paisaje con repercusión en la ocurrencia de incendios y en su capacidad de propagación (Romero-Calcerrada y Martínez 2004).

La metodología de caracterización del paisaje (Landscape Character Assessment) de la Countryside Agency and Scottish Natural Heritage (2002), consistente en el establecimiento de una tipología jerarquizada de unidades y tipos de paisaje, permite identificar territorios con características homogéneas relativas al relieve, vegetación forestal, usos del suelo y dinámicas de los territorios en los que se encuentran las IUFs. Esta información es fundamental para la adopción de estrategias de prevención y extinción en función del riesgo de incendio forestal (Galiana-Martin y otros 2011).

⁶ Tipo 1. Hábitat disperso con continuidad de vegetación elevada; Tipo 2. Hábitat disperso con continuidad de la vegetación media; Tipo 3. Hábitat disperso con gran dispersión o sin presencia de vegetación forestal; Tipo 4. Agrupación de edificaciones con continuidad de la vegetación elevada; Tipo 5. Agrupación de edificaciones con continuidad de la vegetación media; Tipo 6. Agrupación de edificaciones con gran dispersión o sin presencia de vegetación forestal; Tipo 7. Urbanizaciones con continuidad de la vegetación elevada; Tipo 8. Urbanizaciones con continuidad de la vegetación media; Tipo 9. Urbanizaciones con gran dispersión o sin presencia de vegetación forestal; Tipo 10. Núcleo Urbano en contacto o cercanía a vegetación forestal.

⁷ A partir de Zipperer (2005), el *contexto territorial* se refiere a la localización de las IUF en el paisaje y su entorno próximo.

La caracterización del paisaje en función del riesgo de incendio que desarrolla este trabajo parte de la definición general de *Riesgo = Peligro x Vulnerabilidad* (Camia y otros 2006). Se centra en el peligro entendido como la probabilidad de que un incendio se produzca (ocurrencia) y se propague por el territorio (intensidad) (Blanchi y otros 2002). Su calculo esta basado en variables que pueden considerarse estáticas en el largo plazo, como la topografía o el tipo de vegetación (San- Miguel-Ayanz y otros 2003).

La caracterización de los distintos tipos de paisajes en función del peligro estructural de incendio forestal (fig. 2) pone en relación las características de los combustibles y la pendiente con el tipo de paisaje para valorar su capacidad de propagación; y, por otro lado, vincula la ocurrencia de incendios forestales a ciertos paisajes con unas características concretas. De esta forma, las tipologías de IUF definidas anteriormente se contextualizan en un determinado paisaje que tiene asociado un cierto grado de peligro de incendio.



Figura 2— Componentes para el cálculo del peligro estructural de incendio

Situaciones de IUF para la planificación de la gestión frente a incendios forestales

Esta última etapa contextualiza los distintos tipos de IUF en el paisaje donde se encuentran con el objetivo de identificar Situaciones de IUF. El término *Situación* deriva del concepto de escenario aunque no se refiere ni a una predicción ni a una previsión (Hernández y Wider 2006). Este estudio entiende como “Situación” una descripción teórica de la realidad para, en base a lo observado, anticipar necesidades de gestión (Caballero y otros 2007, Castellnou y otros 2009). De esta manera, la clasificación de interfaces en Situaciones constituye un instrumento de gran utilidad en la planificación de la prevención y extinción de incendios forestales.

En este caso, se han identificado las siete *Situaciones de IUF* más representativas del área de estudio a partir de la inserción de un determinado tipo de

interfaz —establecido a partir del modelo edificatorio y la estructura de la vegetación colindante— en un contexto espacial concreto, configurado por elementos paisajísticos, estructurales y dinámicos. A partir del análisis en profundidad de siete ejemplos, se plantean estrategias de gestión y propuestas de acción adaptadas a cada Situación.

Contexto político y legal

La primera referencia legal de la que se tiene constancia y en donde se reconoce la presencia de edificaciones en medio forestal como elemento de riesgo de incendio es la normativa específica de incendios forestales nacional (Ley 81/1968 y su reglamento de 1972) que recoge “las normas preventivas que deben observarse en (...) las viviendas, edificaciones e instalaciones de carácter industrial situadas en la zona forestal”. Posteriormente, desde la política de Protección Civil se aprueba la *Directriz Básica de Planificación de Protección Civil de Emergencia por Incendios Forestales* (1993) que establece un instrumento de planificación dirigido concretamente a la defensa de “empresas, núcleos de población aislada, urbanizaciones, campings, etc que se encuentran ubicados en zonas de riesgo de incendio”. A partir de este momento, las CCAA empiezan a desarrollar de forma generalizada normativas para la gestión de incendios forestales que recogen medidas de prevención y protección específicas para espacios de IUF. Más recientemente, la Ley 43/2003 de Montes estatal retoma e impulsa nuevamente el concepto de IUF en su capítulo sobre gestión de incendios forestales.

La incorporación de los espacios de IUF por parte de los instrumentos políticos destinados a la gestión de incendios forestales se plantea desde su doble consideración: como espacio vulnerable en donde es necesario desarrollar medidas para la protección de personas y bienes a través de acciones para la reducción de los combustibles y la creación de infraestructuras de defensa; pero también, como territorios potencialmente generadores de incendios en los que es necesario adoptar medidas encaminadas a evitar la ignición y posible propagación de incendios hacia las masas forestales próximas mediante la regulación de actividades y el uso de fuego.

La gestión de los espacios de IUF frente al riesgo de incendios se desarrolla de forma preferente desde la normativa específica de incendios y la planificación de Protección Civil mientras que la legislación forestal, en la mayoría de los casos, actúa solo de forma subsidiaria. Existen distintos modelos en la organización de la planificación autonómica de incendios forestales. Las regiones que mantienen una separación entre la política específica de incendios forestales que trata aspectos de prevención y medidas de autoprotección para la población, y la Protección Civil que

se centra en el establecimiento de protocolos de actuación y organización funcional en el momento de la emergencia. Por otro lado están las CCAA donde la prevención y gestión de la emergencia en espacios de IUF se integran en el mismo documento de planificación.

La articulación y desarrollo de los instrumentos normativos y de planificación puede ser (i) *Jerárquica*, con la aprobación de normativa o planes en distintos niveles a instancia de una norma jerárquicamente superior y siguiendo una organización “en cascada”, como en la protección civil o (ii) *Horizontal-Sectorial* donde una determinada legislación influye en la aprobación de normativa en otra; por ejemplo, la legislación autonómica de incendios forestales recoge la necesidad de aprobar planes de autoprotección que están establecidos en el contexto de la Protección Civil.

La gestión integrada del riesgo de incendio forestal asociado a los espacios de IUF requiere un acercamiento hacia las políticas de planificación espacial. Esta conexión se produce, por un lado, con la incorporación de criterios desarrollados en el ámbito del urbanismo por parte de la normativa de incendios forestales; por ejemplo, las condiciones de diseño y materiales para la protección y seguridad de las personas que el código Técnico de Edificación (2006) recoge para las edificaciones en terreno forestal. Por otro lado, la planificación urbanística recoge las previsiones reglamentariamente establecidas por las normativas sectoriales para reducir el peligro de incendio forestal y los daños que pudieran derivarse en los espacios de interfaz. Por ejemplo, la obligación de redactar planes de autoprotección o la implantación de medidas preventivas en las edificaciones de nueva construcción. Algunas regulaciones urbanísticas ya integran estos preceptos pero aun es difícil determinar si con una función meramente indicativa o tendrán efectos verdaderamente vinculantes.

En general, el tratamiento de los incendios forestales y, en concreto, los territorios de interfaz no se encuentran desarrollados en las políticas de planificación espacial, donde incluimos la ordenación del territorio y urbanismo, con toda la potencialidad que las políticas sectoriales demandan. La principal oportunidad de la planificación urbanística reside en evitar la urbanización de terrenos con elevado riesgo de incendio forestal. La existencia de este riesgo debe acreditarse previamente a la aprobación de planes urbanísticos mediante cartografía o informes redactados por parte del organismo sectorial pertinente. Sin embargo, existe una falta de adecuación de la zonificación y cartografía del riesgo de incendio forestal debido a que en su elaboración no se contempla la planificación espacial como usuario final.

En general, todas las normativas autonómicas de incendios forestales recogen el riesgo de incendio asociado a la presencia de espacios edificados próximos al medio forestal y la necesidad de abordar su gestión. Sin embargo, los avances en esta materia han seguido un ritmo desigual en función de la importancia otorgada a esta problemática en cada CCAA (Herrero 2009). Solamente en algunas CCAA la

identificación de los territorios de IUF y su gestión frente a los incendios forestales intenta adaptarse la problemática y las particularidades territoriales propias de la región⁸; esto indica una necesidad de tipificar las IUFs para adecuar su gestión.

Situaciones de IUF

Se han identificado siete Situaciones de IUF en la zona de estudio (Figura 3): (I) urbanizaciones exentas en las dehesas del piedemonte; (II) urbanizaciones del escarpe de piedemonte; (III) urbanizaciones en sierras y laderas forestales; (IV) borde de núcleo urbano en contacto con vegetación forestal; (V) hábitat disperso en las dehesas del piedemonte; (VI) hábitat disperso en sierra forestal; (VII) agrupación de edificaciones en el piedemonte.

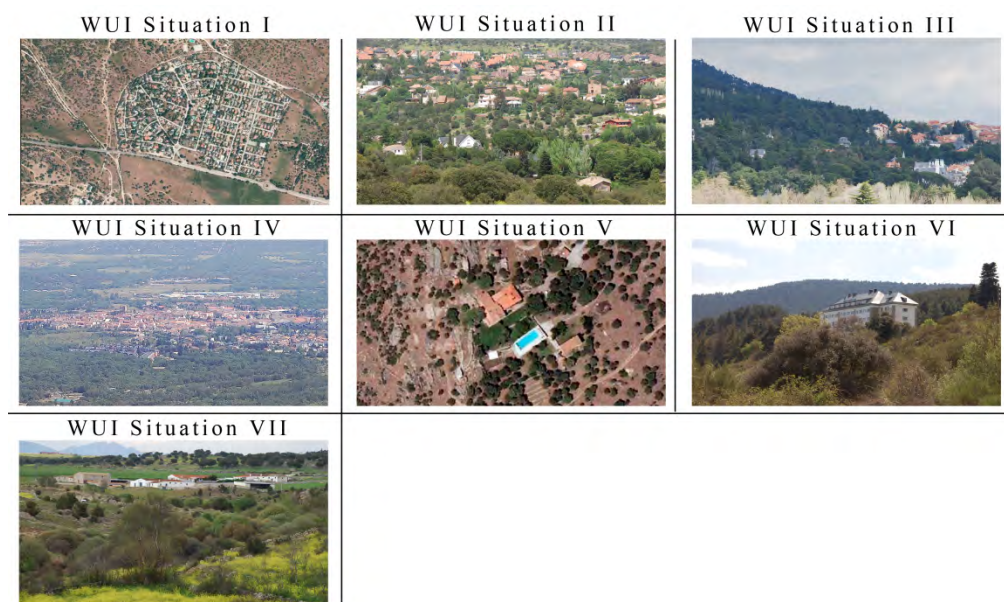


Figura 3—Situaciones de IUF en el área de estudio

Para cada Situación se elabora una ficha que recoge información sobre: el nombre del asentamiento y municipio, fotografía aérea, área de distribución de Situaciones equivalentes, tipo de IUF, características morfológicas (distribución de edificaciones, viales, perímetro), topografía y vegetación, consideraciones en relación al riesgo de incendio forestal a partir de variables físicas y la ocurrencia de incendios en el pasado. También incluye información sobre planificación urbanística (dónde se producirán los nuevos crecimientos, sobre qué clase de cubierta del suelo y a partir de qué tipología edificatoria) para inferir su evolución en el futuro. Además, se tiene en

⁸ Cataluña se centra en las urbanizaciones sin continuidad inmediata con la trama urbana y situadas a menos de 500 m de terrenos forestales, mientras que Extremadura prioriza los entornos de pueblos.

cuenta la legislación sobre espacios naturales protegidos que pudiera afectar a las edificaciones localizadas en entornos naturales. Asimismo, se recoge la existencia de planes de prevención y emergencias frente incendios forestales. Por último, se valora el grado de adopción de medidas específicas frente a incendios agrupadas en acciones de reducción de combustibles, información a los residentes y la existencia de otras infraestructuras de defensa. Todo ello se materializa en el planteamiento de recomendaciones para su gestión frente a incendios forestales.

La disponibilidad de normativa que regule medidas básicas para minimizar el riesgo de incendio a los espacios de interfaz es imprescindible como apoyo para una gestión efectiva. Sin embargo, la aplicación de acciones que han sido aprobadas de forma genérica no siempre es útil, ni factible en algunos casos. Por ejemplo, las necesidades de gestión en una urbanización situada en sierra forestal suelen ser diferentes a las de una vivienda aislada en la dehesa del piedemonte. No solamente por las diferencias estructurales que presentan ambos tipos de asentamiento, sino también por la situación que ocupan en el territorio y características de su entorno.

Al respecto, conviene disponer de unas directrices comunes sin perjuicio de que sea necesario valorar las características y necesidades concretas de cada territorio para poder adaptar y establecer medidas adecuadas en cada caso. La clasificación de los espacios de IUF en Situaciones ofrece a los gestores información de la organización espacial del territorio teniendo en cuenta que las interfaces agrupadas bajo una misma Situación comparten características similares y pueden implementarse acciones comunes para la gestión del riesgo de incendios.

Conclusiones

El planteamiento de la gestión de los incendios forestales debe partir de un enfoque global y territorial del problema en donde exista una vinculación de las políticas de incendios con las políticas territoriales, teniendo como principal objetivo la incorporación de las causas estructurales de los incendios con afección a población. Además, de forma complementaria al tratamiento específico que reciban las IUFs por parte de las distintas políticas implicadas, este tipo de espacio debe ser incorporado como un elemento transversal que sea tenido en cuenta en la adopción de estrategias con incidencia en el territorio para facilitar la necesaria coordinación entre los distintos sectores. Con ello se pretende asegurar la coherencia entre los objetivos de las distintas políticas implicadas para evitar impactos negativos que, en este caso, se materializan en una mayor incidencia de incendios forestales y el incremento de pérdidas y daños en espacios habitados.

La gestión de los espacios de IUF frente al riesgo de incendios forestales requiere un enfoque integral consistente en una correcta planificación en base a tres

etapas: previsión, prevención y extinción. Las políticas de ordenación territorial y urbanismo desempeñan un papel fundamental a la hora de evitar la proliferación de nuevos espacios de interfaz o, al menos, minimizar su vulnerabilidad. Su principal aportación radica en la capacidad de prever y advertir sobre la conformación de posibles situaciones de riesgo. A través de una adecuada zonificación de usos dirigida a evitar desarrollos urbanísticos en zonas de alto riesgo y la adopción de un modelo de asentamientos seguro puede mitigar el riesgo de incendio forestal. La política forestal y la específica de incendios forestales abordan acciones de prevención dirigidas a evitar la ocurrencia de incendios en edificaciones ya existentes que se localizan próximas a entornos forestales. Por su parte, el desarrollo normativo y de los instrumentos de planificación con objetivos dirigidos a la extinción y gestión de la emergencia recibe tratamiento por parte de la política de protección civil que establece protocolos de actuación y autoprotección en el momento del incendio.

Se han identificado carencias respecto a los instrumentos políticos dirigidos a la previsión de estas situaciones de riesgo. Dichos aspectos corresponde que sean tratados desde las políticas territoriales con influencia en el desarrollo urbanístico y la gestión forestal. Como ya se ha indicado, la posibilidad de integrar la problemática asociada a los espacios de IUF en estas políticas requiere, por un lado, tener una visión conjunta del territorio a gestionar, considerando los distintos usos para hacerlos compatibles y, por otro lado, alcanzar una mayor integración con las políticas sectoriales de incendios. En cualquier caso, es importante diferenciar entre la existencia de normativa sobre el tema, su desarrollo a través de instrumentos de planificación y su efectiva implementación a través de acciones concretas que, en último término, posibilitan la gestión de los espacios de IUF frente a incendios forestales.

En cuanto a la planificación de la gestión de incendios forestales en espacios de interfaz, se propone la utilización de Situaciones de IUF como una herramienta útil para, a partir de la descripción teórica de la realidad, poder anticipar necesidades de gestión. Frente a la consideración de las características del espacio de IUF de forma aislada, el análisis de Situaciones de IUF integra además información territorial relevante para plantear una gestión del riesgo de incendio forestal adaptada a unas condiciones concretas y aplicable a escenarios análogos. La redacción de instrumentos de planificación para la gestión del riesgo de incendio debe recoger la existencia de esta variabilidad con el objetivo de proponer un tratamiento diferenciado que responda a las características y necesidades concretas de cada situación.

Agradecimientos

Los resultados presentados proceden de la tesis doctoral “Las interfaces urbano-forestales como territorios de riesgo frente a incendios: análisis y caracterización regional en España” defendida en el departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid. Agradecimientos al proyecto FIRE PARADOX FP6-018505. Documento disponible en: www.interfazurbanoforestal.com

Referencias

- Agudo, J.; Montiel, C.** 2009. Basis to start the process for a proposal of a new legislation at EU level. [Unpublished] Integrated project Fire Paradox, D7.1-1.3. 45p.
- Biro, Y.** 2009. Living with wildfires: what science can tell us. EFI Discussion Paper 15. Finland: European Forest Institute. 82 p.
- Blanchi, R., Jappiot, M., Alexandrian, D.** 2002. Forest fire risk assessment and cartography. A methodological approach. In D. X. Viegas (Ed.), IV International conference on forest fire research and wildland fire safety. Coimbra, Portugal, 16-20 November 2002.
- Buxton, M.; Haynes, R.; Mercer, D.; Butt, A.** 2011. Vulnerability to Bushfire Risk at Melbourne's Urban Fringe: The Failure of Regulatory Land Use Planning. *Geographical Research* (49). Pp. 1-12.
- Caballero, D., Beltrán, I., Velasco, A.** 2007. Forest fires and wildland-urban interface in Spain: types and risk distribution. En: IV Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales. Sevilla: 13-17 Mayo, 2007.
- Camia, A., Guglielmet, E., Bovio, G., Deshayes, M., Lampin, C., Salas, J., Martínez J; Molina D; Carrega, P; Fox, D; Berolo, W; Sabaté, S; Vayreda, J; Martín, P; Martínez, J; Conese, C; Bonora, L; Karteris, M; Mallinis, G; Sergiopoulou, I; Gitas, I.** 2006. Wildland fire danger and hazards: A state of the art (80 pp.) Unpublished report. EUFIRELAB project. [On line]. www.eufirelab.org.
- Castellnou, M., Pagés, J., Miralles, M., Piqué, M.** 2009. Tipificación de los incendios forestales de Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal. Paper presented at the 5º Congreso Forestal Español, Ávila, 21-25 Septiembre.
- Countryside Agency and Scottish Natural Heritage.** 2002. Landscape Character Assessment. Wetherby: Countryside Agency and Scottish Natural Heritage; 96 p.
- Fernández-Espinar, L.** 1991. La legislación forestal en el Estado de las Autonomías. *Revista de estudios Agro-Sociales* (158). Pp. 107-129.
- Galiana, L.; Herrero, G.; Solana, J.** 2007. Caracterización y clasificación de Interfaces Urbano- Forestales mediante análisis paisajístico. El ejemplo de Sierra Calderona (Comunidad Valenciana, España). En: IV Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales. Sevilla: 13-17 Mayo, 2007.
- Galiana-Martin, L., Herrero, G., Solana, J.** 2011. A wildland-urban interface typology for forest fire risk management in Mediterranean areas. *Landscape Research*, 36, 151-171.
- Hernández-Jimenez, V.; Wider, N.** 2006. Running experiments with the Madrid Simulation Model. [Informe inédito] Time-Geographical approaches to Emergence and Sustainable Societies (TiGrESS) project. 24 p.

- Herrero, G.** 2009. Assessment of the Growing Importance of Wildland-Urban Interfaces in Fire Risk Management: WUI Regional Patterns in Spain. En: González, A. (coord). Proceedings of the III International Symposium on Fire Economics, Planning and Policy: Common Problems and Approaches. Puerto Rico: 29 Abril- 2 Mayo, 2008. Pp. 238-248.
- Herrero, G.** 2011. Wildland-urban interfaces as fire prone areas in Spain: Regional analysis and characterization (p. 546). Director: Galiana, L. Universidad Autónoma de Madrid. Dep. Geografía www.interfazurbanoforestal.com
- Herrero-Corral, G., Jappiot, M.; Bouillon, C.; Long-Fournel, M.** 2012. Application of a geographical assessment method for the characterization of wildland-urban interfaces in the context of wildfire prevention: A case study in western Madrid. Applied Geography (35). Pp. 60-70
- Lampin-Maillet, C., Bouillon, C.** 2011. WUImap: a software tool for mapping wildland-urban interfaces in Mediterranean European context. Journal of Environmental Science and Engineering, 5, 631-642
- Lampin-Maillet, C., Jappiot, M., Long, M., Bouillon, C., Morge, D., Ferrier, J. P.** 2010. Mapping wildland-urban interfaces at large scales integrating housing density and vegetation aggregation for fire prevention in the South of France. Journal of Environmental Management, 91, 732-741
- Lloret, F., Calvo, E., Pons, X., Díaz-Delgado, R.** 2002. Wildfires and landscape patterns in the eastern Iberian Peninsula. Landscape Ecology, 17, 745-759.
- Mermoz, M., Kitzberger, T., Veblen, T. T.** 2005. Landscape influences on occurrence and spread of wildfires in Patagonian forests and shrublands. Ecology, 86 (10), 2705-2715.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.** 2009. Los incendios forestales en España. 156p.
- Montiel, C.; Herrero, G.** 2010. An overview of policies and practices related to fire ignitions at the European Union level. En: Sande, J.; Rego, F.; Fernandes, P.; Rigolot, E. (eds). Towards Integrated Fire Management. Outcomes of the European Project Fire Paradox. Finland: European Forest Institute. Pp. 35-46.
- Romero-Calcerrada, R.; Martínez, J.** 2004. Nuevas técnicas para el estudio de los cambios en la ocupación del territorio: aplicación en la ZEPA Encinares de los ríos Alberche y Cofio (Comunidad de Madrid)". En: Conesa et al (ed). Territorio y Medio Ambiente: Métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica. Murcia: Universidad de Murcia. Pp.329-342.
- San-Miguel-Ayanz, J., Carlson, J. D., Alexander, M., Tolhurst, K., Morgan, G., Sneeuwjagt, R., Dudfield, M.** 2003. Current methods to assess fire danger potential. En: E. Chuvieco (Ed.), Wildland fire danger estimation and mapping: The role of remote sensing data. Singapore: World Scientific Publishing. Pp. 24-34.
- Simorangkir, D.; Moore, P.; Haase, N.; Moore, P.** (Ed). 2003. Fires, laws and regulations – Towards best practices for legal aspects of fire. Project Fire Fight South East Asia (IUCN and WWF). 68p.
- Turner, M.; Romme, W.** 1994. Landscape dynamics in crown fire ecosystems. Landscape ecology (9). Pp. 59-77.
- Vélez, R.** 2009. Los factores causantes: las fuerzas y cambios sociales y económicos. En: Birot, Y. (ed.). Convivir con los incendios forestales: lo que nos revela la ciencia. Finland: EFI Discussion Paper (15). Pp. 23–27.
- Zipperer, W. C.** 2005. Ecological assessment and planning in the wildland-urban interface: a landscape perspective. In S. W. Vince, M. L. Duryea, E. A. Macie, & L. A. Hermansen

(Eds.), *Forests at the wildland-urban interface: Conservation and management*. Boca Raton: CRC Press. Pp. 161-174.

Villaflores: Modelo de Atención Municipal a los Incendios Forestales¹

Pedro Martínez Muñoz² y Carlos Alberto Velázquez Sanabria³

Resumen

Considerando lo descrito en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, el Municipio de Villaflores desarrolla acciones para disminuir la problemática de afectación por incendios forestales, desde el año 2002 y de manera ininterrumpida, como parte de su agenda de trabajo que atiende con dependencias del sector Federal, Estatal y ONG'S. El plan de trabajo tiene las siguientes fases: a) **Coordinación interinstitucional:** participación de instituciones gubernamentales y ONG'S; b) **Presupresión:** acciones que han permitido tener preparados los recursos (humanos, materiales y financieros), destacando el establecimiento y funcionamiento de un Centro Municipal de Control de Incendios Forestales; c) **Prevención:** acciones permiten el incremento de la participación de la población en general; d) **Vinculación Intramunicipal:** estrategia de respaldo, validación y apoyo de distintas áreas del **H. Ayuntamiento**; e) **Detección y combate:** descubrimiento de los incendios y aviso al personal responsable. El despacho se realiza bajo los principios de **ataque inicial**; f) **Participación Social:** orientado a **comunidades críticas**, involucrando a **campesinos, niños, jóvenes y mujeres**; participación de **organizaciones campesinas (UPROSIVI)** y **organizaciones civiles (BIOMASA, FMCN, AMBIO, CBMM)**; y h) **Capacitación y Entrenamiento:** fortalecimiento de capacidades a nivel comunitario y técnico, para contar con personal calificado, capacitado y entrenado en el tema.

Hasta ahora los trabajos han arrojado los siguientes resultados: 1) Disminución de **7,000 hectáreas promedio afectadas entre 1995-2001 a 751 hectáreas promedio por año**; 2) Empoderamiento del tema por la sociedad civil, a través de la UPROSIVI; 3) Formación de 52 técnicos y especialistas y 105 brigadistas comunitarios; 5) Aplicación de recursos en proyectos productivos y ambientales alternativos; 6) Red de 30 brigadas comunitarias en apoyo al Programa. 7) Elaboración de un Sistema Municipal de Información de Incendios Forestales; y 8) Aportación del 74% en la participación días/hombre en la prevención y combate.

Palabras clave: ley forestal, participación social, programa de incendios.

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales; noviembre 5-11 de 2012, Ciudad de México, México.

² Guarda Técnico Forestal y Asesor de Incendios Forestales en el Ayuntamiento de Villaflores Email: pmtz29@hotmail.com.

³ Ingeniero Agrónomo, Asesor técnico de la UPROSIVI y Representante de BIOMASA; Email: biomasa_ac@hotmail.com.

Introducción

Cuando pensamos en mejorar la atención de los incendios forestales, es fundamental contar con la participación de la sociedad civil, por lo que tenemos que remitirnos a lo mencionado en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, la cual establece disposiciones para llevar a cabo acciones relacionadas con el manejo del fuego, involucrando a las dependencias de la administración pública de los tres niveles de gobierno, así como de la sociedad en general. Así mismo, de manera más específica, la Norma Oficial Mexicana (NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA 2007), establece también las especificaciones técnicas de los métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario, con el propósito de prevenir y disminuir los incendios forestales. Por otro lado, con fecha 29 de octubre del 2008, fue publicada la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable para el Estado de Chiapas, mediante la cual se le dan atribuciones y obligaciones a los municipios de la entidad para la ejecución de acciones relacionadas con el Manejo Integral del Fuego. Considerando el marco legal citado anteriormente, y ante el fenómeno del cambio climático como el principal proceso que afecta la seguridad y bienestar de la sociedad y del medio ambiente, las instituciones, tanto gubernamentales y no gubernamentales, deben asumir el compromiso ineludible de desarrollar acciones que coadyuven con la protección, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los recursos naturales de México, en particular de los bosques y selvas, como una acción impostergable, considerando que son ecosistemas generadores de bienes y servicios ambientales de los que dependemos como seres humanos. Considerando lo anteriormente descrito, el Municipio de Villaflores, Chiapas, tomo la determinación de desarrollar acciones que contribuyan a disminuir la problemática ambiental relacionada con la ocurrencia de incendios forestales, desde el año 2002 y de manera ininterrumpida, como parte de su agenda de trabajo que atiende permanentemente.

Marco legal de los incendios forestales

La distribución de competencias en materia de prevención y combate de incendios forestales para la Federación, las Entidades Federativas, los Municipios y los propietarios de los recursos forestales, es mencionada en diferentes instrumentos legales en nuestro país, como la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) en los Artículos 12 Fracción XVI, 13 Fracciones XIV y XV, 15 Fracción XI, 123 y 124; la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, en sus Artículos 19 y 20; Ley General Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA); de así como, la

Norma Oficial Mexicana 015 SEMARNAT- SAGARPA/ 2007, que regula el uso del fuego en los terrenos agropecuarios y forestales. En estos instrumentos, también se hace referencia a la descentralización de los recursos, funciones y obligaciones, así como a la participación social.

En estos mandatos legales, se determinan tres vertientes que componen el PPCIF de México, las cuales se enlistan a continuación:

- A) Federación
 - SEMARNAT
 - CONAFOR
 - CONANP
 - SAGARPA
 - SEGOB - PROTECCIÓN CIVIL
 - Otras dependencias federales de apoyo
- B) Gobiernos de Entidades Federativas y Municipios
- C) Dueños y/o poseedores de terrenos forestales.

El Artículo 123 de la LGDFS, establece que a la CONAFOR corresponde coordinar las acciones de prevención y combate especializado de incendios forestales, así como promover la asistencia de las demás dependencias y entidades de la Administración Pública Federal (APF), de las entidades federativas y de los municipios, en los términos de la distribución de competencias (señaladas en los artículos 12, 13 y 15 de la LGDFS) y de los acuerdos y convenios que se suscriban.

Durante mucho tiempo, se ha tenido la percepción de que corresponde al Gobierno Federal el ataque inicial de los incendios, sin embargo la LGDFS es clara al otorgar a los dueños y poseedores de los terrenos forestales y preferentemente forestales, así como a los Gobiernos Municipales y Estatales, la atribución del ataque inicial de los incendios forestales y a la CONAFOR la atribución de apoyar a estos niveles de gobierno y a los dueños de terrenos, a través del ataque ampliado o combate especializado.

Atención a nivel nacional

El Programa Nacional de Protección Contra Incendios Forestales (PNPCIF) tiene una historia que se remonta más allá de las décadas de los años 50's-60's, a través de las cuales ha evolucionado de acuerdo con las condiciones y circunstancias prevalecientes. Ha estado alojado en las extintas Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG-1946), Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH-1976), la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP-1994), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT-2000) y

hoy en la Comisión Nacional Forestal (creada en 2001, aunque el Programa de Protección Contra Incendios Forestales fue transferido de la SEMARNAT a la CONAFOR en 2002). Durante todas estas transferencias y cambios de dependencias, el PPCIF ha estado sujeto a la evolución y desarrollo, motivado por los diferentes administradores del Programa.

Históricamente, el PNPICIF es uno de los más avanzados en el tema en América Latina, por lo que, en muchas ocasiones se ha brindado apoyo técnico a otros países de la región, entre ellos Guatemala, Paraguay, Belice, Costa Rica, etc. Se considera un Programa fuerte a nivel América Latina, pero no tan desarrollado como los países de Estados Unidos, Australia, España o Canadá.

Atención a nivel estatal

Es en Diciembre de 1994, cuando la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) transfiere al Estado, las facultades en materia forestal y entre ellas la responsabilidad de atención de incendios forestales. En Octubre del 2008 se publica, la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable para el Estado de Chiapas, donde se especifica que se atribuye al Estado a través de la Secretaría del Campo, como la institución responsable de coordinar, supervisar y ejecutar acciones para la prevención, combate y control de los incendios forestales en el ámbito estatal, solicitando la participación de dependencias federales, estatales y municipales, además de organizaciones no gubernamentales y sociedad en general.

Aun cuando, el Gobierno Estatal ha canalizado presupuestos adicionales y ha invertido en la formación de sus cuadros técnicos, la infraestructura operativa y administrativa del Estado es aún limitada para asumir totalmente la responsabilidad que se señala en la Ley, por lo que la responsabilidad de la coordinación de las acciones de protección contra los incendios forestales es aún compartida con la federación. Derivado de esta coordinación interinstitucional, en los últimos años, Chiapas ya no ha ocupado, a nivel nacional, los primeros lugares en cuanto a superficies afectadas por incendios forestales. La organización operativa para la atención de incendios forestales se ha dado mediante el trabajo conjunto en el Centro Estatal de Control de Incendios Forestales (CECIF) y en los Centros Regionales de Incendios Forestales (CRIF), en donde participan los representantes de las dependencias involucradas en el tema a nivel Estatal, y se ha llegado a la determinación de 25 municipios críticos por su incidencia y afectación.

Con este esquema de trabajo, se han realizado grandes avances en el estado, considerándolo como uno de los estados más desarrollados en la protección contra incendios forestales a nivel nacional. En Chiapas, se ha logrado establecer una sólida coordinación interinstitucional entre las dependencias de los tres órdenes de

gobierno, ONG'S y la sociedad civil; desarrollo de capacidades locales en temas especializados de incendios forestales; equipamiento especializado, entre otras cosas.

La experiencia del Municipio de Villaflores

El Municipio de Villaflores (figura 1) cuenta con una extensión territorial de 1, 232.10 km², de los cuales posee una superficie forestal de más de 70, 000 has; compuesta por bosques, selvas y vegetación secundaria en diversas áreas estratégicas como la Reserva de la Biósfera “La Sepultura”, Área de Protección de Recursos Naturales “La Frailescana”, El Cerro Nambiyigua, el Cerro Brujo, entre otros, las cuales constantemente son amenazadas y afectadas por incendios forestales. En el periodo 1995-2001, el Municipio de Villaflores fue afectado por incendios forestales con 51,926 has., lo que representó el 41% de la problemática total de la región Frailesca. Las cifras anteriores indican que durante el periodo mencionado, el Municipio de Villaflores fue el más afectado por los incendios forestales en el estado de Chiapas. En parte de su territorio se ubica la Reserva de la Biosfera “La Sepultura” (REBISE) y el Área de Protección de Recursos Naturales “La Frailescana” (APRN La Frailescana), en donde existen diversos ecosistemas como el bosque mesófilo de montaña (en peligro de extinción), bosque de pino, selva alta y mediana, entre otros.



Figure 1—Localización del Municipio de Villaflores.

La problemática de incendios forestales que se presenta en el Municipio de Villaflores es debido al uso excesivo del fuego en las actividades agropecuarias, esto es de entenderse ya que esta región es considerada como el “granero del estado de Chiapas”, por sus altos rendimientos en maíz que se han obtenido; aunque, a últimas fechas, se han encontrado causas como descargas eléctricas, fumadores, cazadores y

quema de basura. En los últimos 15 años, el municipio de Villaflores se ha ubicado entre los primeros lugares en afectación e incidencia por incendios forestales, lo que ha traído consigo, efectos secundarios a este fenómeno, entre los que destacan la pérdida de la cobertura vegetal, la erosión y los deslaves, principalmente en la parte alta de la zona sierra.

En el municipio de Villaflores hasta el año 2001, la atención de los incendios forestales fue tradicionalmente un trabajo de la Federación conjuntamente con el Gobierno del Estado, con el acompañamiento del propio H. Ayuntamiento, quien de manera preferente apoyaba con recursos logísticos sin contar con una iniciativa definida en esta materia, a partir del año 2002, se pone en marcha el Programa Municipal de Protección Contra Incendios Forestales, el cual ha tenido la premisa fundamental de la protección de los recursos naturales a través de la participación y fortalecimiento de las capacidades locales, y el impulso de alternativas productivas al uso del fuego. Han pasado 10 años, y los resultados obtenidos por este Programa han sido constantes y papables, ya que se ha logrado reducir la superficie afectada, de 3, 851 has en el año 2001 a 168 has afectadas en la última temporada crítica (2012), además de ir consolidando un equipo técnico de especialistas, desarrollo de una coordinación interinstitucional efectiva y el empoderamiento de estas actividades por parte de una organización comunitaria (UPROSIVI) con promotores y brigadas comunitarias con la estrategia de “ataque inicial”, a partir del año 2005, con lo cual se ha logrado establecer un modelo municipal de atención a los incendios forestales y Manejo Integral del Fuego.

Debido al éxito de la estrategia de combate en el Municipio, se ha ido desarrollando otra problemática, que es el acumulamiento de material combustible disponible para arder en los bosques, que conjugado con las condiciones topográficas abruptas existentes y las meteorológicas extremas (como las que se presentan en el periodo crítico), pueden provocar incendios de rápida propagación y de grandes magnitudes. Para resolver esta problemática, se desarrolló el Sistema Municipal de Información para el manejo de Incendios Forestales, primera fase, en donde se plantean diferentes tipos de actividades que nos pueden ayudar a mejorar la toma de decisiones en el manejo del fuego y, sobre todo, a predecir su comportamiento cuando se presenten incendios forestales o se realicen quemas prescritas (como una forma efectiva para el manejo de combustibles), esto como complemento a la estrategia de prevención de incendios del Programa Municipal existente, además de los Planes de Manejo de la Reserva de la Biosfera La Sepultura (REBISE) y del Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) La Frailescana, para la disminución del riesgo y afectaciones al fenómeno de los incendios forestales que impactan de manera severa en este municipio. Esta estrategia se fundamentó en la realización de un diagnóstico de la percepción del fuego, enfocado en dos aspectos principalmente,

el histórico (causas y efectos de los incendios en el área, fuentes de ignición y frecuencia, indicadores de eficiencia, épocas de quemas, registros de calendarios de quemas, tamaño de superficie, etc.), y el social (problemática, la relación de los incendios con las actividades, recursos y manejo de la ANP, vinculación de problemática con otras instituciones y organizaciones que realizan acciones de manejo y conservación, etc.).

Fases del programa de manejo del fuego en Villaflores, Chiapas

En principio, es importante citar que diversos actores están involucrados en el Programa de Manejo del Fuego de Villaflores, desde el liderazgo que ha establecido el H. Ayuntamiento, incluyendo la participación de otras dependencias del ramo ambiental y agropecuario, resaltando el involucramiento de instituciones educativas del nivel básico y superior, además de organizaciones no gubernamentales, técnicos, profesionistas, personas voluntarias, ambientalistas, comunicadores, amas de casas, pero sobre todo productores agropecuarios que habitan en las áreas rurales y que hacen uso del fuego como herramienta de trabajo en la preparación de sus parcelas.

Ante esta situación es lógico que exista un nivel de conocimiento y experiencia a distintos niveles acerca de los incendios forestales, razón por la que es necesario diseñar estrategias para atender la problemática de incendios forestales, basadas en “diagnósticos y análisis rigurosos”, tal y como sucede actualmente con el Programa Municipal de Villaflores, al contar con una metodología de zonas prioritarias producto del Sistema Municipal de Manejo de Incendios Forestales. En este sentido, a través del Programa de referencia, se atiende dos componentes: el institucional o clásico y el componente social, con la tarea pendiente de transitar hacia una iniciativa de Manejo Integral del Fuego, cuando se tenga las condiciones de desarrollar el componente ecológico, basado y fundamentado en el conocimiento de la ecología del fuego.

Dentro del marco de las políticas públicas en materia ambiental y forestal, se diseña y elabora el Programa de Manejo del Fuego, que para este caso, tiene una orientación a mediano plazo y está integrado dentro del Programa Estatal y Regional en la materia, vinculando su desarrollo y ejecución con el propio de la Reserva de la Biosfera “La Sepultura” (REBISE), considerando que la mayor parte de superficie con bosques y selvas del municipio de Villaflores se localiza dentro de dicha ANP. Tomando como base este Programa Municipal Estratégico, se elaboran programas operativos anuales para guiar las acciones en el corto plazo. El Programa Municipal de Manejo del Fuego a mediano plazo de Villaflores, está basado en una metodología de “evaluación de prioridades de protección”, apoyado en el conocimiento

especializado que proporcionan los tratamientos analíticos relativos a la obtención del “riesgo”, “el peligro” y “el daño potencial”. En este caso, para, conocer el riesgo de incendios, se realizó un estudio analítico y de evaluación de los factores que determinan el origen o inicio de dichos siniestros en el municipio de Villaflores (problemática de la ocurrencia de incendios), distinguiéndose 02 componentes fundamentales: riesgo histórico que se relaciona con datos estratégicos en un intervalo de tiempo determinado y riesgo potencial, que está referido a las distintas acciones humanas que pueden provocar incendios forestales, como quemas agropecuarias, densidad de población (zona rural principalmente), paseantes en áreas forestales, cazadores, etc. El peligro de incendios forestales, se refiere al estudio analítico y de evaluación de los factores ambientales que condicionan la mayor o menor facilidad que presenta la vegetación para entrar en ignición (arder) y propagar el fuego, como las características del combustible vegetal y, condiciones del terreno, principalmente la pendiente, además de las condiciones meteorológicas prevalecientes a la hora en que ocurren los incendios. El daño potencial, considera la evaluación de las posibles pérdidas o afectaciones económicas, culturales, sociales y ecológicas que pudieran existir en caso de la presencia de incendios forestales. Como resultado de los tres análisis citados anteriormente se obtuvieron mapas de riesgo, peligro y daño potencial, sumando las puntuaciones de las ponderaciones de cada uno de los factores calificados, con el apoyo del SIG se conjuntaron y una vez sobrepuestos como capas de información, finalmente dieron como resultado el mapa de áreas de atención prioritarias contra incendios forestales en el municipio de Villaflores, Chiapas.

Lo anterior, con el fin de orientar adecuadamente las decisiones para la prevención, combate y manejo del fuego y hacer eficiente la asignación de recursos en las prioridades de conservación y protección contra dicho fenómeno. Para un mejor entendimiento de lo descrito anteriormente, la prioridad de atención se dividió en cinco niveles: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, en función de la puntuación obtenida, es decir, si la puntuación fue mínima, el rango de valor, es muy bajo, o bien, si la puntuación fue la máxima, el rango de valor es muy alto.

Como prioridades de protección en el municipio de Villaflores, se consideran, en el orden de importancia y características siguientes:

- 1) zonas núcleos de las ANP'S;
- 2) macizos boscosos ininterrumpidos, como áreas de amortiguamiento y de influencia de las reservas, entre otros macizos estratégicos (que tienen valor protector, económico, social, cultural o político),
- 3) macizos boscosos aislados, que están intercalados con cultivos, pero que también tienen valor protector, social, económico, etc.

4) áreas con vegetación en proceso de recuperación (arbustiva), no consideradas de gran valor, pero que son adyacentes a terrenos que exigen protección (de mayor valor) y que de ocurrir un incendio exista el peligro de propagación.

En base a este análisis de atención prioritario, se han desarrollado las siguientes fases del Programa Municipal:

A) Coordinación interinstitucional — durante los diez años de vigencia del Programa se ha conformado un marco interinstitucional mediante el cual se realizan los arreglos institucionales requeridos para la planeación, operación, seguimiento y evaluación de las acciones estratégicas, participando, al menos, diez instituciones gubernamentales y organizaciones civiles, bajo el liderazgo del H. Ayuntamiento. Entre las instituciones involucradas podemos mencionar a CONAFOR, SEMARNAT, CONANP y SAGARPA (a nivel Federal); Secretaría del Campo (a nivel Estatal); BIOMASA, FMCN, UPROSIVI, AMBIO, PRONATURA Sur (ONG'S); Universidad Autónoma de Chiapas (sector Educativo), entre otras.

B) Presupresión — relacionada con acciones que han permitido tener preparados todos los elementos tanto humanos, materiales y financieros previo a cada período crítico de incendios, destacando el establecimiento y funcionamiento de un Centro Municipal de Control de Incendios Forestales, organismo que tiene la tarea de planear, coordinar y comprometer la participación de las instancias involucradas en la atención de la problemática de incendios forestales en el municipio, realizando, al menos, 15 acciones básicas durante cada período crítico. Este centro, está integrado y opera con una organización establecida al 100% con técnicos y especialistas del propio H. Ayuntamiento, recibiendo apoyo técnico y logístico complementario de otras instituciones como la CONAFOR, CONANP y el Gobierno del estado de Chiapas.

C) Prevención — concibiendo que la prevención persigue impedir que se originen los incendios forestales, debido a causas evitables, y por considerar que es una fase relevante del programa, se aplica en sus tres modalidades: “cultural, física, y legal”, cuyas acciones están permitiendo el incremento de la participación de la población en general, en la atención de la problemática de incendios en el municipio. En este rubro, podemos mencionar que dentro del Municipio se desarrolla una estrategia conjunta con la CONANP/REBISE, de prevención cultural en la zona sierra, donde se desarrollan acciones coordinadas entre promotores comunitarios de dicha reserva con técnicos del H. Ayuntamiento Municipal; dentro de las actividades que se han realizado en diferentes comunidades y la cabecera municipal podemos mencionar desfiles alusivos, concursos de mantas, videos y cárteles y exposiciones, mención aparte recibe la Feria Ambiental “A qué le tiras cuando quemas mexicano” realizada en el año 2005, con el apoyo y participación de más de 20 dependencias,

donde se registró la asistencia de más de 6000 personas, principalmente de niños y jóvenes, en tan solo dos días que duró el evento.

D) Vinculación Intramunicipal — se trata de una estrategia donde, en principio, el Programa de Incendios es respaldado por el C. Presidente Municipal, validado por el Honorable Cabildo, recibiendo el apoyo de, al menos, 08 direcciones de área del propio H. Ayuntamiento durante su desarrollo. Esta vinculación interna es la que fortalece en gran medida las acciones de manejo del fuego en Villaflores. Dentro de las principales áreas que apoyan podemos enlistar a Protección Civil Municipal, Fomento Agropecuario, Comunicación Social, Tesorería, Seguridad Pública Municipal, Salud Municipal, Oficialía Mayor, entre otros.

E) Detección y combate — se cuenta con una estrategia de descubrimiento inmediato de los incendios que significa no sólo la detección del fuego en sus primeros momentos, sino localizar también su posición exacta y enviar el aviso al personal responsable de combatirlos. El despacho de las brigadas se realiza bajo los principios de ataque inicial, es decir, se busca reducir los tiempos de combate de los incendios después de recibir la notificación, de tal forma que la atención de los siniestros se inicie en los primeros 60 minutos de su desarrollo, con objeto de poder extinguirlos dentro de las primeras 12 horas de haberse iniciado. En este sentido, la fase de control y combate se basa en la utilización de una red de radios base de comunicación que cubre, más del 90% del territorio municipal, con los cuales se monitorea, desde las comunidades, la situación diaria de incendios y/o otras emergencias. Para lo anterior, se cuenta con el apoyo de dos brigadas municipales, 10 brigadas comunitarias en proceso de profesionalización y 20 grupos comunitarios organizados denominados “comités agroecológicos”, ubicados en las zonas prioritarias, cuya participación es voluntaria. Cabe destacar, que en estas acciones las autoridades ejidales juegan un papel determinante ya que son las que organizan la participación de estos grupos.

F) Participación Social — se orienta de manera preferente en 30 comunidades rurales más críticas por los incendios forestales, de acuerdo al mapa de zonas prioritarias, involucrando a campesinos productores que hacen uso del fuego, mediante el extensionismo; niños y jóvenes, con acciones de educación ambiental; mujeres, mediante entrevistas personalizadas o talleres participativos; ancianos por su gran sabiduría y porque conservan con arraigo sus costumbres y tradiciones; organizaciones campesinas, como principales aliados del programa municipal, mediante la gestión y desarrollo de proyectos relacionados con el manejo del fuego, p. Ej. la Unión de Productores de la Sierra de Villaflores (UPROSIVI), merecedora del reconocimiento a la Conservación de la Naturaleza en el 2010; organizaciones civiles, como aliados en la gestión de recursos externos que han fortalecido e innovado el programa (como ejemplo podemos citar a: BIOMASA, A.C., Fondo

Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, AMBIO, Corredor Biológico Mesoamericano, incluyendo el Servicio Forestal de EUA.); e instituciones gubernamentales, para dar cumplimiento a la normativa ambiental de este país. Un punto aparte debe de tener que existen comunidades donde el trabajo de ordenamiento territorial, propuestas de reglamentos internos para el uso del fuego y los Planes Comunitarios de Manejo Integral del Fuego han sido generados de manera participativa y de manera activa con cada una de ellas, actualmente se tienen desarrollados estos tipos de trabajos en 5 comunidades, de manera completa, y en proceso de elaboración otras 3.

G) Capacitación y Entrenamiento — se desarrolla un proceso de fortalecimiento de capacidades locales en el nivel comunitario y técnico, con objeto de contar con personal calificado, capacitado y entrenado en el tema, haciendo énfasis en los aspectos de seguridad de los combatientes y población amenazada. Como una estrategia transversal, existe personal que ha llevado un proceso completo de capacitación, participando en cursos avalados por el currículo que la CONAFOR aplica a nivel nacional. En este caso, se pretende mejorar la seguridad humana para transitar hacia la formación o preparación de comunidades “adaptadas al fuego”, es decir, que a través de la capacitación se proporcionen condiciones para que la gente pueda vivir en armonía con la existencia normal o anormal de incendios forestales y sus efectos, a través de la organización, mejoramiento de técnicas, infraestructura, equipo de protección, etc., que proporcionen un nivel apropiado de protección contra el fenómeno del fuego. Por otro lado, se pretende un manejo de conocimientos, mediante la recolección y sistematización de información, con objeto de orientar el uso apropiado de la técnicas tradicionales y locales junto con los resultados que pudieran generar los especialistas e investigadores en este tema, considerando que los conocimientos tradicionales pueden proporcionar mucha información que no se obtiene o identifica por el trabajo técnico o de investigación.

Resultado del programa

1. Disminución de las superficies afectadas por los incendios forestales de más de 7,000 hectáreas periodo 1995-2001 (cuando no existía una planeación municipal) a 700 hectáreas promedio por año desde que existe el programa municipal de manejo del fuego, registrándose además cifras históricas de afectación mínima en los años de 2008, 2010, 2011 y 2012 que fueron de 74, 187, 205 y 168 hectáreas respectivamente;
2. Empoderamiento de las acciones de manejo del fuego por parte de la sociedad civil, a través de la organización campesina “Unión de Productores de la Sierra de Villaflores (UPROSIVI);

3. Formación de 52 técnicos y especialistas y 105 brigadistas comunitarios;
4. Aplicación de proyectos alternativos para disminuir el uso del fuego, por ejemplo en el 2011 se asignan más de \$8,000 000 (ocho millones de pesos) por diversas instituciones;
5. Red de 30 brigadas y comités comunitarios en apoyo al programa municipal de manejo del fuego;
6. Avance tecnológico al contar con el primer Sistema Municipal de Información para el manejo de Incendios Forestales a nivel estatal;
7. El municipio aporta el 74% en la participación días/hombre en la prevención y combate en relación al resto de instituciones involucradas;
8. Origen de una estrategia efectiva y eficiente que está contribuyendo a la adaptación del cambio climático global y local.

Beneficiarios del programa

- A)** Indirectamente se beneficia una población de más de 98,000 habitantes del municipio de Villaflores, al proteger y conservar más de 70000 has arboladas en el municipio; disminuir considerablemente las emisiones de bióxido de carbono producidos por el humo y con ello mermer el calentamiento global y local, mejorando la calidad del aire; proteger los manantiales y fuentes de agua para la población, entre otros.
- B)** Directamente en promedio se benefician 70 combatientes, a través de brigadas oficiales del municipio y comunitarias.

Tránsito hacia el manejo integral del fuego

Se considera que el programa de manejo del fuego del municipio de Villaflores, se ha institucionalizado ya que es aceptado y apoyado por instancias internas y externas, razón de su éxito y permanencia, por otro lado, existen condiciones técnicas, logísticas y políticas para que el programa sea reconocido oficialmente como un “modelo piloto”, para la desconcentración de recursos y funciones por parte de las instituciones normativas, con lo cual se lograría fortalecer la asignación presupuestal, de recursos humanos con el nivel técnico requerido, así como de recursos materiales. Lo anterior, coadyudaría en la generación de nuevas políticas públicas en esta materia y la creación de acuerdos de transferencia de recursos y funciones desde la Federación- el Gobierno del Estado hacia el Municipio y grupos organizados de la sociedad civil y las comunidades. Siendo importante resaltar que para lograr dicho propósito, los dos primeros niveles de gobierno citados anteriormente, deben procurar la integración y asignación de paquetes de apoyos y servicios que faciliten la

apropiación y empoderamiento cabal de tal responsabilidad ya que la estrategia futura de manejo del fuego asume la imperiosa necesidad de multiplicar la capacidad de respuesta ante el fenómeno de los incendios forestales, particularmente en el nivel comunitario (dueños de bosques y selvas), por lo que se requiere del fortalecimiento de capacidades locales tanto en este nivel como el municipal, con objeto de adquirir conocimiento y capacidad de acción para desarrollar organizaciones capaces de enfrentar el problema de los incendios bajo las condiciones ambientales, sociales, políticas y económicas actuales y por venir. En este caso, en el corto y mediano plazo el programa municipal de Villaflores, debe contar con las condiciones para iniciar con el desarrollo del componente ecológico, bajo un “manejo adaptativo”, considerando que la investigación científica básica y aplicada, es la fuente fundamental de información para transitar hacia un verdadero Manejo Integral del Fuego.

Referencias

- BIOMASA. 2010.** Sistemas de Información para el Manejo de Incendios Forestales (SIMIF), Proyecto: “Elaboración de un Sistema de Análisis, Planeación y Toma de Decisiones para la Protección Contra Incendios Forestales en el Municipio de Villaflores, Chiapas”. Biodiversidad, Medio Ambiente, Suelo y Agua, A. C. & Consultoría para el Manejo del Fuego. Chiapas, México. 158 p.
- CECIF. 2007.** Programa Operativo Logístico para la Protección Contra Incendios Forestales. Chiapas. CONAFOR-COFOSECH.
- 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 No.17. Roma (disponible también en www.fao.org/forestry/site/35853/en).
- GOBIERNO DEL ESTADO DE CHIAPAS. 2010.** Decreto de Ley de Desarrollo Forestal Sustentable para el Estado de Chiapas y su Reglamento. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- H. Ayuntamiento de Villaflores.** Programas Municipal de Manejo del Fuego y Protección contra Incendios Forestales de los años 2002 al 2012. Villaflores, Chiapas, México.
- SEMARNAT. 2003.** Decreto por el que se expide la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y se reforman y adicionan la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y la Ley de Premios, Estímulos y Recompensas Civiles. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación (Primera Sección), Martes 25 de febrero de 2003.
- SEMARNAT. 2007.** Norma Oficial Mexicana 015 SEMARNAT-SAGARPA. Especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario. México, DF.

Políticas de Manejo de Incendios Forestales en Argelia: Necesidades Presentes y Futuras^{1, 2}

Ouahiba Meddour-Sahar³, Armando González-Cabán⁴, Rachid Meddour³, y Arezki Derridj³

Resumen

Las tierras forestales argelinas cubren 4,115,908 hectáreas (ha), de las cuales 2,413,090 ha (58%) son arbustos o maquis. Trabajos recientes han demostrado que los incendios forestales son el principal factor que explica (90%) la degradación de las tierras forestales de Argelia a una tasa anual de 45,000 a 50,000 ha. De 1985 a 2010 en 40 provincias del norte de Argelia, 42,555 incendios forestales han quemado un total de 910,640 ha. En promedio, 1,636 incendios queman 35,024 hectáreas de tierras forestales al año. En el período de 1985 a 2010 se produjo una tendencia general al alza en la frecuencia de incendios anual para la zona. Al igual que en toda la región mediterránea, los incendios forestales en Argelia son en su mayoría causados por el hombre, ya sea por negligencia o de manera deliberada.

Desafortunadamente, la mayoría de los incendios son de origen desconocido (80%), por lo que es difícil establecer un enfoque preventivo apropiado. La estrategia actual de prevención de incendios forestales en Argelia se basa en el principio de "daños mínimos", lo que refleja las limitaciones técnicas y la falta de capacidad en los recursos de extinción de incendios para proteger la totalidad de los terrenos forestales contra incendios forestales. Entre las limitaciones de los programas de manejo de incendios forestales existentes, es necesario mejorar el sistema de alerta y comunicación, e intensificar la silvicultura preventiva en zonas de alto riesgo para reducir la vulnerabilidad de los bosques a los incendios.

Del mismo modo, el desarrollo de mapas de riesgo de incendios forestales y proporcionar mantenimiento adecuado a la infraestructura existente podrían ayudar a mejorar la respuesta institucional a la temporada de incendios forestales, potencialmente conduciendo

¹ Una versión resumida de este trabajo se presentó en el IV Simposio Internacional sobre Economía, Planificación y Política de los Incendios: El cambio climático y los incendios forestales, del 5 al 11 de noviembre de 2012, Ciudad de México, México.

² La encuesta utilizada en este trabajo fue diseñada e implementada por el autor principal en Argelia; ningún dinero del Gobierno Federal de EE.UU. o tiempo de sus empleados fueron utilizados en tales esfuerzos.

³ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Mouloud Mammeri, BP 17 RP Tizi Ouzou, Argelia 15 000; *E-mail*: o.sahar@yahoo.fr; rachid_meddour@yahoo.fr, respectivamente.

⁴ Economista Investigador del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal, Estación de Investigación Pacífico Sur-oeste, CA 92507 (EE.UU.). *E-mail*: agonzalezcaban@fs.fed.us.

a mejores programas de prevención de incendios forestales y programas más eficientes de gestión de incendios en Argelia.

Palabras clave: *causas de incendios, historia de incendios, manejo de incendios, estrategia de prevención*

Introducción

El fuego es la principal causa de destrucción de los bosques en la región del Mediterráneo. Cada año, alrededor de 50.000 incendios afectan entre 700,000 y 1 millón de hectáreas de bosque mediterráneo, otras tierras boscosas y otras tierras, causando grandes daños económicos y ecológicos, al igual que pérdidas de vidas humanas (Dimitrakopoulos & Mitsopoulos 2006).

Argelia es un país mediterráneo fuertemente condicionado por características biológicas, climáticas y medio-ambientales del área. Los incendios forestales pueden ser muy frecuentes debido a las duras condiciones climáticas (temperaturas extremas y prolongadas sequías), que en pocas horas pueden aniquilar amplias superficies (Madoui, 2000).

De acuerdo al Inventario Forestal Nacional 2009 (Bneder 2009) la situación actual en bosques y otras tierras boscosas (OWL, por sus siglas en inglés) es de preocupar. Su área total combinada es de sólo 4,115,908 ha (1,702,818 ha de bosques y 2,413,090 de OWL), representando sólo 1.72% de las 238,174,000 ha del país. Además, 84% o 200 millones de hectáreas de la superficie total están localizados en la región del Sahara. Solamente la parte montañosa del Norte del país tiene una cobertura forestal significativa de cerca de 16.4%.

Las condiciones climáticas son un factor predisponente de gran importancia para la situación de los incendios forestales en Argelia. Los veranos prolongados (de junio a octubre), con casi nada de lluvia y una temperatura media diurna muy por encima de los 30 ° C, y con picos diarios que alcanzan hasta 50 ° C (e.g. en In Salah en 2005), reducen la humedad contenida en la hojarasca a muy por debajo de 5%. Bajo estas condiciones, incluso una pequeña adición de calor natural (rayos) o fuentes humanas (una chispa, un fósforo, una colilla de cigarrillo) pueden ser suficientes para iniciar un violento incendio forestal.

En el contexto de la región del Mediterráneo, Argelia es uno de los países con problemas de incendios forestales, cuyo impacto significativo requiere consideración. Los gerentes de los distritos de incendios se enfrentan a las tendencias al alza en la frecuencia de incendios, en la superficie afectada, en la intensidad del fuego y su severidad, y en el incremento de la longitud de la temporada de incendios y el riesgo resultante de los cambios en las condiciones climáticas.

El objetivo de esta investigación es establecer un inventario de las políticas públicas relacionadas con los incendios forestales y entender su contexto en relación con el manejo de incendios forestales en Argelia

El área de estudio

Argelia es el país más extenso en África y el Mundo Árabe, con una superficie total de 2,381,714 km². Colinda con el Mar Mediterráneo hacia el Norte (1,299 km de litoral), Marruecos al Oeste, Túnez y Libia al Este, Mauritania y el Sahara occidental al Sur-oeste y finalmente con Mali y Nigeria hacia el Sur (figura 1).

Argelia está dividida en 48 provincias (*wilayas*), 553 distritos (*daïras*) y 1,541 municipalidades (*baladiyahs*). De acuerdo a una estimación realizada en enero de 2010, la población de Argelia era de 34.9 millones. Cerca de 90 por ciento de los argelinos viven en el área costera del Norte. Más del 25 por ciento de los argelinos están por debajo de los 15 años de edad.

Geográficamente, el país está dividido de Norte a Sur en cuatro zonas naturales: 1) la cordillera de Tellian (o el Tell) está conformada por el escarpado relieve septentrional flanqueado por ricas llanuras costeras tales como la Mitidja en el centro, la Chelif al Oeste y las planicies Seybouse en el Este; 2) el altiplano, donde la vegetación es estepa. Los veranos son generalmente secos y los inviernos fríos. Las ciudades principales son Bordj Bou Arreridj, Serif, Tiaret, Dejelfa, M'sila; 3) la cordillera sahariana como una sucesión relieves orientados de noreste a suroeste esparciéndose desde la frontera con Marruecos hasta Túnez; y 4) el Desierto del Sahara, compuesto de grandes dunas de arena (Este y Oeste de Erg) y llanuras de grava (regs) con oasis dispersos tales como el El-Oued, Ghardaia y Djanet.

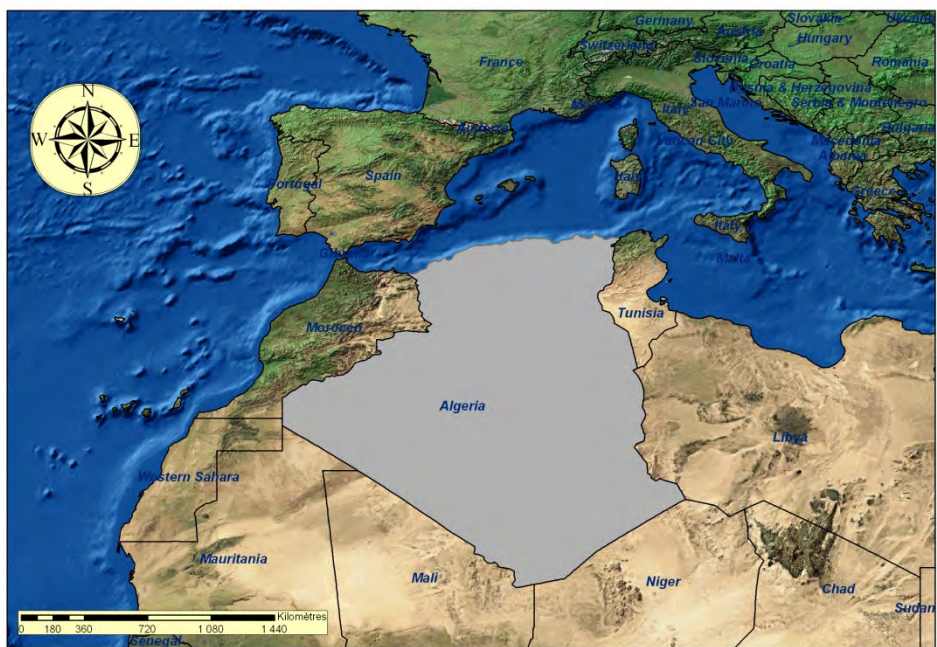


Figura 1—Mapa de Argelia

Métodos

El proyecto de investigación aquí reportado fue realizado durante la primavera de 2011. Nuestra fase inicial de trabajo consistió en una revisión de documentos existentes, reportes y legislación tocante a incendios forestales a los niveles nacional, regional y local. Para complementar esta información condujimos una encuesta cualitativa (entrevistas estructuradas cualitativamente) aplicada a una muestra de 35 gerentes de distritos de incendios en la dirección central de protección civil y bosques nacionales y regionales de Argelia. En complemento, 70 entrevistas personales fueron realizadas a nivel regional con gerentes forestales regionales (n=20), bomberos (n=17), y autoridades locales (n=33) involucradas en la protección contra incendios forestales.

Resultados

Estadísticas de incendios forestales

Los incendios forestales son un fenómeno recurrente y siempre han tenido una penetrante influencia en los bosques argelinos. En el periodo 1985-2010, un total de 42,555 incendios quemaron 910, 640 ha. de tierra forestal. Esto representa 1,637 incendios y 35, 025 ha anualmente, para un área afectada de 21,39 ha. por incendio

(Meddour-Sahar y Derridj 2012b). Como se muestra en la figura 2, la variabilidad anual en estas estadísticas es muy alta. Esto es corroborado por el abultado coeficiente de variación (40.30%) para el número de incendios y 143% para área afectada. El gran número de incendios y área afectada en 1993, 1994, 2000 y 2007 es de particular importancia. Una posible explicación para la relación es la alta correlación entre el área afectada y las condiciones meteorológicas estacionales.

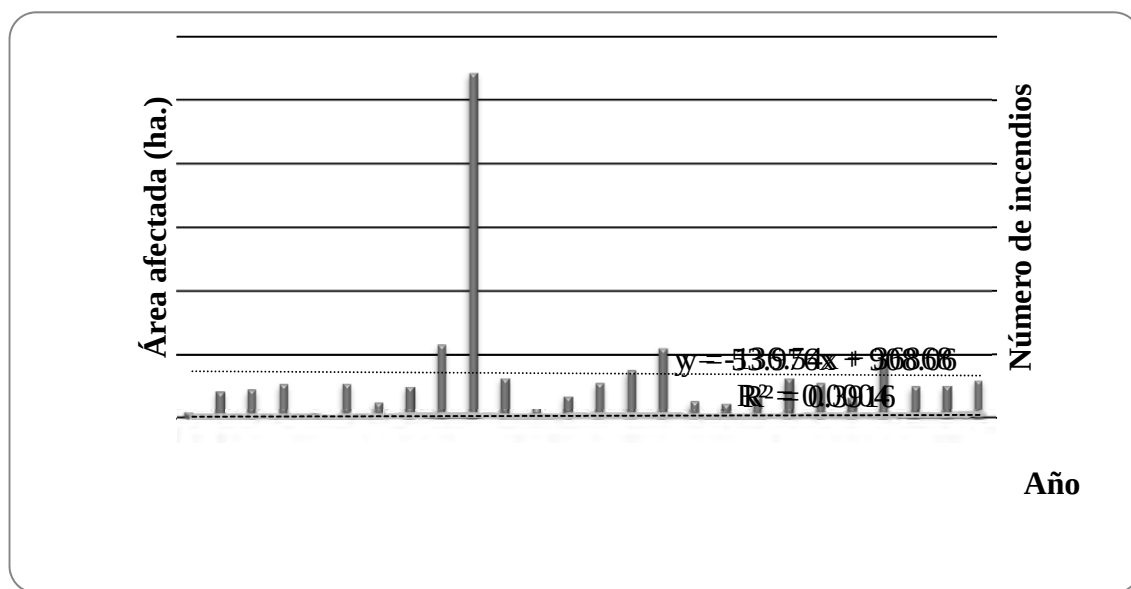


Figura 2—Número de incendios y área afectada en Argelia, de 1985 a 2010

En el período 1985-2010 los números anuales promedio de incendios, área afectada, y área afectada por incendio son 1,637, 35,027 y 21.39 respectivamente (Tabla 1). Sin embargo, al dividir el período completo en dos sub-periodos de 12 años, emerge un patrón interesante. Mientras que el número promedio anual de incendios aumentó de 1,348 en el período de 1985 a 1997, a 1,925 entre 1998 y 2010, lo contrario sucedió para el área de superficie afectada y área afectada por incendio. El área se redujo de 41,147 a 28,902 y de 30.52 a 15.01 hectáreas, respectivamente (Tabla 1). Los siguientes factores pueden haber influido en esta tendencia. En primer lugar, las mejoras en los métodos de detección (torres de vigilancia, pero principalmente las patrullas móviles) han, muy probablemente, resultado en la detección y denuncia de más incendios. En segundo lugar, la calidad de las bases de datos ha mejorado considerablemente. En tercer lugar, debido a las agresivas y efectivas políticas de extinción de incendios, éstos se extinguen con mayor prontitud (como por ejemplo después de la compra, en 2005, de vehículos de doble tracción tipo *pick-up* equipados con pequeños equipos de bombeo contra fuego (600 litros) y

una bomba de alta presión), lo que puede dar lugar a incendios más pequeños reduciendo el tiempo de intervención.

Tabla 1—Estadísticas de incendios forestales en Argelia.

Año	Número de incendios	Área afectada (ha)	Área afectada por incendio (ha)
Promedio (1985-2010)	1,637	35,025	21.39
Promedio (1985-1997)	1,348	41,147	30.52
Promedio (1998-2010)	1,925	28,902	15.01

Como se expresó antes, la causa principal de los incendios forestales a lo largo de los países de la región mediterránea es antropogénica. Argelia está marcada por una fuerte prevalencia de los incendios provocados. En algunos casos, son iniciados a propósito, por ejemplo, por propósitos ilegales. En muchos otros, están relacionados con actividades agrícolas y forestales, por ejemplo, los incendios para la limpieza agrícola que salen de control. Hay otros factores que contribuyen a la rápida propagación del fuego, lo que hace que sean más difíciles de suprimir (Meddour-Sahar y otros 2012). Las condiciones meteorológicas no son la causa de ignición (excepto bajo contexto de relámpagos), sino que tienen un efecto catalizador ya que son factores predisponentes que hacen más fácil la propagación del fuego en un ambiente caluroso y seco (típicamente asociado con la humedad del combustible cercana a cero).

Desafortunadamente, la investigación sobre las causas de incendios en Argelia se encuentra en su estadio inicial, limitando así la comprensión de las causas principales de los incendios en el país. Por ejemplo, para la serie de tiempo comprendida entre 1985 y 2010, para la cual se tiene información casi completa, la causa del fuego no se puede identificar en 80% de los casos (Tabla 2). Incluso para los incendios que pueden ser asignados a una categoría, las categorías son muy amplias, a saber: negligencia, accidental o deliberada. Es necesaria una clasificación más refinada que pudiese ayudar en el diseño de programas de prevención de incendios.

Tabla 2—Causas de incendios forestales en Argelia durante el periodo 1985-2010

Causas	Número de incendios	%
Negligencia	1,260	3
Accidental	256	0.6
Deliberada	7,009	16.4
Desconocida	34,030	80
Total	42,555	100

Las causas registradas en los datos de incendios no reflejan la realidad. En Argelia, es comúnmente aceptado que al menos la mitad de los incendios atribuidos a causas desconocidas son, o incendios provocados malintencionadamente, o incendios de seguridad deliberadamente establecidos por el ejército argelino como medida de lucha contra el terrorismo, por lo que es un tema bastante difícil de abordar.

Estos incendios se enumeran como por causas desconocidas, ya sea porque el pirómano no fue arrestado o porque no se encontró evidencia concluyente de incendio malicioso (Dimitrakopoulos 1995). Una vez más, esto apunta a la urgente necesidad de mejorar la capacidad para investigar las causas de los incendios.

Política de incendios forestales en Argelia

La política nacional de incendios forestales emana de la legislación forestal argelina incluyendo disposiciones específicamente relacionadas tanto a la prevención como a la organización de la respuesta a los incendios forestales. Las siguientes cuatro leyes y decretos contienen elementos específicos que abordan asuntos relacionados a incendios forestales.

- Ley 84/124 del 23 de junio de 1984, que conforme a los artículos 19, 20 y 23 requiere la participación de diferentes organismos del Estado en la lucha contra los incendios forestales. La ley establece las obligaciones de ciertas dependencias para llevar a cabo acciones de protección contra incendios;
- Decreto 87-44 del 10 de febrero de 1987, establece las reglas y normas para la prevención contra los incendios forestales dentro y cerca del dominio forestal nacional;
- Decreto 87-45 del 10 de febrero de 1987, establece la organización y coordinación de las acciones en la lucha contra los incendios forestales en el ámbito forestal nacional;
- Decreto 301-07 del 27 de septiembre de 2007, que modifica y complementa al decreto 80-184 del 19 de julio de 1980, estableciendo dependencias coordinadoras para la implementación de acciones para proteger los bosques.

Además de estas leyes relacionadas con políticas contra incendios, Argelia y la mayoría de los países de la región del Mediterráneo, tienen una gran variedad de instrumentos jurídicos para sancionar a los infractores en el caso de un incendio forestal. Las condenas oscilan entre el trabajo forzoso en Marruecos (Zitan, 1986), Argelia (Grim 1989) y Túnez (Chandoul 1986), a penas de cárcel de sólo unos pocos meses en Chipre, hasta cadena perpetua en Francia (Alexandrian y otros 1999).

La política nacional actual de incendios forestales se basa en los siguientes tres principios rectores: la prevención (incluidas todas las medidas destinadas a prevenir la ocurrencia de incendios forestales), la pre-extinción (que abarca todas las disposiciones destinadas a mejorar las intervenciones y la seguridad en caso de incendio), y la extinción (incluyendo todos los posibles tipos de intervención). A continuación se muestra una descripción de las actividades dentro de cada una de estas tres acciones del programa de manejo de incendios.

Prevención

Antes de la temporada de incendios forestales, la administración inicia una serie de actividades de prevención, tales como:

Sensibilización y educación del público y usufructuarios de los bosques—

Entre las actividades de este programa se encuentran: 1) la organización de conferencias sobre incendios forestales en lugares de reunión céntricos y de fácil acceso a los habitantes para explicar las precauciones que deben seguirse en caso de utilización de fuego, a efecto de evitar o reducir la probabilidad de propagación de éste en el bosque, 2) el diseño y la difusión de anuncios de radio y televisión, películas y carteles, 3) la predicación en las mezquitas, 4) los artículos en los diarios destacando los beneficios de los bosques y de la naturaleza, y 5) las campañas en las escuelas a partir de septiembre, coincidiendo con el inicio del año escolar.

El refuerzo de la vigilancia de los bosques—

Existen tres disposiciones principales que regulan el uso del fuego en los bosques o en sus proximidades durante la temporada de sequía, entre el primero de junio y el 31 de octubre. La intención es salvaguardar a la población que rodea a estas áreas de potencial ocurrencia de incendios. Las disposiciones son:

1. Creación de una zona colchón de 50 metros de ancho alrededor de las aldeas para asegurar su protección. En esta zona los árboles frutales se mantendrán, las especies arbóreas forestales serán podadas a un tercio de su altura, el matorral y la hierba seca serán eliminados sistemáticamente, todo ello de acuerdo con el artículo 4 Decreto N° 87/44 de fecha 10 febrero de 1987.
2. Creación de una zona colchón de 25 metros de ancho desprovista de vegetación y otros materiales inflamables alrededor de las escuelas y edificios de unidades socio-económicas, patios y otras instalaciones, todo ello de conformidad con el artículo 6 del Decreto N ° 87/44, del 10 de febrero de 1987.
3. Creación de una zona de colchón de 50 pies de ancho alrededor de los rellenos sanitarios autorizados, todo ello de conformidad con el artículo 15

del Decreto N° 87/44. Además, esos establecimientos deben contar con la presencia de un vigilante de seguridad (para evitar que la gente entre a las actividades de rescate), la quema de los materiales está prohibida, y el equipo de protección contra incendios debe estar presente para responder en caso de necesidad. Los vertederos ilegales deben ser eliminados.

Pre-extinción

La infraestructura y el personal de los programas de gestión de la protección contra el fuego están distribuidos en todas las provincias del país. En la actualidad el programa se compone de una fuerza básica de pre-extinción de 2,229 personas organizadas en 456 Patrullas Forestales Móviles (de 2 a 5 tripulantes dependiendo de la provincia) responsables del combate inicial, y 922 empleados ocupando 375 torres de vigilancia contra incendios. Además, hay otros 6,000 empleados de la Dirección de Protección Civil y 42,088 trabajadores forestales disponibles para las actividades contra incendios cuando sea necesario. En términos de equipamiento e infraestructura el programa consiste en 40 auto-tanques medianos (3,000 litros) de doble tracción, 800 camiones de extinción de incendios proporcionados por la Dirección de Protección Civil cuando sea necesario, 1,617 puntos de agua en o cerca de los bosques, 32,556 hectáreas de cortafuegos pasivos, y 37,933 km de caminos de acceso a los bosques.

El programa de manejo de incendios no es la única dependencia gubernamental con responsabilidades de protección contra incendios. Como tal, el programa colabora con otros organismos gubernamentales e instituciones con responsabilidades de protección contra incendios. Estos incluyen:

- El Ministerio de Obras Públicas, responsable del deshierbe a lo largo de las carreteras nacionales que atraviesan tierras forestales, de conformidad con el artículo 25 del Decreto N° 87/44.
- El Ministerio de Energía y Minas, el Servicio de Ferrocarril: (SNTF, por sus siglas en inglés) responsable del deshierbe a lo largo de la vía férrea que cruza las zonas forestales, de conformidad con el artículo 24 del Decreto N ° 87/44.
- El Ministerio de Interior y de los gobiernos locales responsables del deshierbe de 5 metros a cada lado de los caminos comunales y otras vías de acceso situadas dentro de 500 metros del dominio forestal nacional.
- La Sociedad Nacional de Gas y Electricidad (SONELGAZ), responsable del deshierbe del área bajo las líneas eléctricas que cruzan las zonas forestales de acuerdo con el artículo 21 del Decreto N ° 87/44.
- El Servicio Meteorológico Nacional, responsable de emitir pronósticos meteorológicos durante la temporada de incendios destacando el peligro

potencial de ocurrencia de uno de estos eventos. Estos boletines se proporcionan a los administradores del Servicio Forestal para colocar estratégicamente sus recursos de extinción de fuego en áreas diagnosticadas con condiciones de alto riesgo de incendios.

- El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; responsable de establecer una zona colchón de 5 metros de amplitud libre de vegetación alrededor de las granjas adyacentes a los bosques, de conformidad con el artículo 7 y 26 del Decreto N° 87/44.

Ninguna de las instituciones mencionadas anteriormente usa el fuego prescrito, la cual es una práctica desconocida en el país.

Durante junio, antes de la temporada de incendios, los ingenieros del Servicio Forestal llevan a cabo una serie de conferencias/talleres dirigidos a las autoridades administrativas locales y voluntarios de protección contra incendios. Los objetivos de estas jornadas son proporcionar una actualización sobre las actividades de prevención de incendios, recordarle a los grupos locales de voluntarios y a todos los miembros de la comunidad que tienen la obligación de participar en la lucha contra incendios forestales, y hacer las veces de recordatorio de los requisitos establecidos por la normativa de protección del Decreto N° 87/44 y 87/45 con fecha del 10 de febrero de 1987. Un informe sobre los resultados de esta actividad debe ser enviado a la Dirección de Bosques para asegurar la rendición de cuentas en su implementación.

En cada provincia, la organización de la gestión de protección contra incendios incluye a los siguientes organismos: el Comité Operativo Provincial (POC, por sus siglas en inglés), el Comité Operacional Distrital (DOC, por sus siglas en inglés), el Comité Operacional de la Municipalidad (MOC, por sus siglas en inglés) y el Comité Operativo de Población Local (LPOC, por sus siglas en inglés). El siguiente diagrama de flujo (Figura 3) muestra su relación y el número de organismos dentro de cada tipo entre paréntesis.

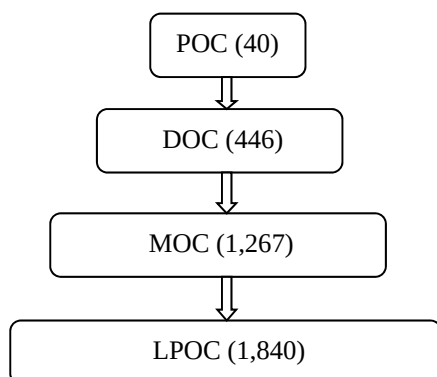


Figura 3—Organización de la protección contra incendios en Argelia (40 provincias)

Extinción

La respuesta de combate inicial a una alarma de incendio está siempre a cargo de la Patrulla Móvil del Bosque local (FMP, por sus siglas en inglés, y CCF en francés). Esta respuesta es por parte de una brigada de 5 personas, en un vehículo todo terreno equipado con un tanque de capacidad de hasta 600 litros, como primer embate. El objetivo de este primer ataque es arribar dentro de los primeros 10 minutos de la notificación del incendio. Estas brigadas tienen equipos de extinción mínimos (palas, picos, batefuegos, aspersores de mochila y una radio para informar al personal del cuartel). Estas cuadrillas habitualmente alertarán respecto de los inicios de los incendios a Protección Civil y a las autoridades locales (a nivel forestal, distrital y municipal). El mandato de la Organización de Protección Civil es dar respuesta a todo tipo de emergencias, incluyendo incendios forestales, y desplegar los recursos necesarios en respuesta a la emergencia, y en el caso de incendios forestales, gestionar las operaciones de extinción, conjuntamente con las cuadrillas de protección. A medida que el fuego se expande, patrullas forestales móviles adicionales son enviadas a reforzar a los equipos de ataque iniciales. Esquemáticamente, la intervención en el combate a incendios forestales es la siguiente:

- Primera respuesta/ataque inicial por parte de Patrullas Forestales Móviles (MFP, por sus siglas en inglés);
- Intervención de Protección Civil con equipo pesado durante el ataque prolongado;
- Intervención de los organismos y otros recursos externos si es necesario, incluyendo MFP's adicionales.

Dimensión económica

Al igual que en la mayor parte de los países del mundo la dimensión económica del manejo de incendios forestales no está bien abordada. Argelia no es la excepción. Aquí, la información del presupuesto para un segmento muy pequeño de las áreas del país y las estimaciones de las pérdidas económicas asociadas a los incendios forestales, para el período de 1985 a 2006, es brindada.

Información parcial del control de incendios, sólo para la provincia de Tizi Ouzou para el año 2009, fue obtenida. Esta muy limitada información se refiere a los costos relacionados a 54 personas para la protección contra incendios, y a los cerca de 9 millones de dinares argelinos o aproximadamente 90,000 Euros. Suponiendo que las 40 provincias argelinas invierten al menos la misma cantidad de personal de extinción de incendios se puede estimar un gasto pre-extinción total de 3.6 millones de Euros para el país. Sin embargo, no sabemos si esta suposición es correcta.

También tenemos información limitada sobre el impacto económico de los incendios forestales en Argelia. Solamente Arfa y otros (2009) han presentado estimaciones del impacto económico de los incendios forestales en el sector forestal en el país. Estos autores estimaron que entre 1985 y 2006, el sector forestal sufrió pérdidas equivalentes a 1.11 miles de millones de Euros (113 miles de millones de dinares argelinos). Estas pérdidas incluyen daños a productos comerciales como la madera aserrada, el corcho y los cereales. Sin embargo, los gastos de extinción directa o pérdidas de hogares no se incluyen en sus estimaciones. Esto podría ser una significativa sub-estimación, porque por ejemplo, sólo en 2007 la destrucción de 334 casas fue directamente asociada a incendios forestales. La pérdida de vidas humanas es otra dimensión de los impactos potenciales que no son considerados en la evaluación de los impactos socio-económicos de los incendios. Por ejemplo, previo a 2007 solamente 8 decesos habían sido relacionadas a incendios forestales, pero durante 2007 en sí 8 decesos civiles fueron documentados, y el deceso de un bombero en 2008. Otro importante, pero no incluido, componente de las pérdidas es la pérdida a largo plazo de la biodiversidad y otros servicios ambientales, tales como los beneficios de la producción de agua, la captura de carbono o la recreación de los bosques argelinos. Sin embargo, esta estimación limitada ofrece una visión de los posibles grandes impactos económicos de los incendios forestales.

Discusión y recomendación

La prevención de incendios forestales debe tener en cuenta dos factores fundamentales: el tratamiento de combustibles y las causas de incendio. El tratamiento de los combustibles tiene que ver con la reducción o la compartimentación de la carga de combustible existente en el bosque (ya sea con o sin vida). El conocimiento de las causas de los incendios podría ayudar a determinar la mejor manera de evitar futuros incendios. El éxito depende también de la integración de la población en algún tipo de prevención de incendios. Hacer esto requiere por lo menos tres tipos de acciones: la persuasión, la conciliación y las sanción (Vélez 1999). Como se expuso por Vélez (1999), la persuasión tiene la intención de modificar el comportamiento de las personas a través de la educación y la información, a través de crear conciencia en el público acerca del peligro situacional. El programa de manejo de incendios dedica un gran esfuerzo a esta acción mediante la participación de la población en la serie de actividades de prevención descritas en la sección del mismo nombre. La conciliación trata de armonizar a las comunidades y a los intereses de las agencias a través de políticas y la legislación forestales para eliminar conflictos que pudieren dar lugar a incendios. Las leyes y reglamentos vigentes en el país, así como los programas específicos de participación del público en actividades de prevención y protección

que involucran a sus comunidades muestran el compromiso de la agencia a la conciliación (véase la sección sobre el fortalecimiento de la vigilancia de los bosques más arriba). Las sanciones se utilizan como último recurso para castigar a ambos, los autores negligentes y los deliberados. Las leyes de Argelia prevén penas para los delincuentes y violadores de los códigos y reglamentos de incendios forestales.

Como se muestra en la Figura 2 y la Tabla 1, el número de incendios ha aumentado significativamente en las últimas dos décadas. Por el contrario, la superficie afectada ha mostrado cierta estabilización. Al mismo tiempo, ha habido un aumento significativo en la disponibilidad y la asignación de recursos de lucha contra incendios para las acciones de vigilancia y extinción. Sin embargo, Vélez (1999, pág. 93) nos advierte que "el problema de los incendios forestales puede ser visto en el contexto de simples medidas coyunturales o simplemente como mejoras a las técnicas para combatirlos, pero se requiere de un conjunto de políticas que afecten sus causas". Es decir, no sólo necesitamos tener mejores equipos y personal capacitado para la extinción de incendios, sino también debemos atacar las causas profundas de los incendios causados por el hombre. La comprensión de las causas fundamentales de los incendios antropogénicos conduciría a mejores programas de prevención para ayudar en la reducción de ocurrencia de incendios forestales.

Un análisis exhaustivo de las políticas actuales de gestión de incendios nos podría ayudar en la identificación de las posibles limitaciones que pueden reducir su eficacia en el tratamiento del presente problema de incendios en Argelia.

Basándonos en nuestro trabajo, enumeramos a continuación una serie de dificultades que afectan a los programas de manejo de incendios (prevención y extinción) en Argelia y proponemos recomendaciones para su solución.

En términos de prevención

Dificultades	Recomendaciones
Falta de bases de datos computarizadas sobre incendios forestales.	Crear bases de datos nacionales y estandarizadas de incendios dentro de los países mediterráneos.
Número aumentado de incendios como consecuencia de la falta general de prevención.	Desarrollo de una política coordinada de prevención entre todas las jurisdicciones para reducir los incendios forestales.
Falta de concientización de los residentes sobre el riesgo de incendios forestales	Integración de la población a los programas en el sector forestal. Aumentar las campañas de sensibilización entre la población local sobre la base de la comunicación masiva.
Aumento de incendios después de la quema descuidada de rastrojo y maleza por parte de agricultores y ganaderos. Monitoreo inadecuado de las acciones preventivas y disuasivas en áreas	Autorización de quemas controladas en Argelia por parte de una autoridad reguladora apropiada. Contratación de personal de protección forestal, aumentar la vigilancia móvil en las zonas de

boscosas, debido a la falta de personal y equipo. Falta de estaciones meteorológicas específicas en las áreas forestales para identificar los factores que influyen en el fuego en tiempo real.	mayor riesgo, con una densidad mínima de 5000 hectáreas por supervisor. Instalación de una red automática de estaciones meteorológicas en las áreas forestales por parte del Servicio Nacional de Meteorología para facilitar el cálculo de los índices de riesgo de incendios y ayudar a las acciones de lucha contra incendios.
--	--

En términos de extinción

Dificultades	Recomendaciones
Insuficiencia de la primera intervención o ataque inicial.	Aumento en la cantidad de recursos disponibles para ataque inicial y reducir los tiempos de respuesta e intervención.
Falta de personal en relación al territorio forestal del país; problema de simultaneidad de incendios y la inaccesibilidad de algunos bosques.	Aumentar los niveles de dotación de personal y el presupuesto de la Dirección General de Bosques para compensar los déficits operativos adicionales en las agencias con responsabilidades de extinción de incendios.
Falta de recursos aéreos	Dotar a Protección Civil de transporte aéreo para movilizar al personal de extinción de incendios en terrenos accidentados.

En términos de restauración de áreas forestales afectadas

Dificultades	Recomendaciones
Ausencia de operaciones silvícolas más grandes en áreas con gran acumulación de combustibles finos.	Llevar a cabo operaciones silvícolas para eliminar la acumulación de combustibles finos (eliminación de la madera muerta, supresión del estrato arbustivo, limpieza, etc.)
Fuegos recurrentes en algunas provincias (provincias costeras).	Investigación conducente a acciones dirigidas a zonas específicas de alto riesgo para la reconsideración de la política forestal.

Conclusión

Argelia tiene un grave problema de incendios forestales. El esfuerzo dedicado a tratar con él es significativo en términos de personal, material y recursos financieros. Sin embargo, los resultados de los más recientes años, no sólo en el número de incendios y área afectada, sino en la pérdida de vidas y propiedades indican claramente que existe la necesidad de mejoría, especialmente en lo que se refiere al conocimiento y organización de los esfuerzos del programa conjunto de manejo de incendios.

La falta de un programa institucionalizado de investigación de causas de incendios es un factor que contribuye a la reducción de la eficacia potencial de los programas de prevención. El mejoramiento en la colección de estadísticas de incendios y el mantenimiento de bases de datos de incendios proporcionaría

información básica a los gerentes de los distritos de incendios para ayudar a guiarles en su proceso de toma de decisiones. Presupuestos insuficientes derivan en programas de manejo de incendios infradotados financieramente. Aumentos en los programas de prevención y pre-extinción de incendios a nivel nacional y provincial ayudarían a mejorar la capacidad de respuesta del servicio de bomberos. Una relación de trabajo más estrecha entre el Servicio Forestal y otros organismos nacionales y el Servicio de Bomberos es necesaria para reducir la potencial duplicidad de responsabilidades y maximizar la eficiencia del programa. Una reevaluación y actualización continua de su proceso de planeación de programas de manejo de incendios ayudaría al cuerpo de bomberos para dar cuenta de los avances tecnológicos en equipos y personal para maximizar la efectividad de sus fuerzas

La implementación de estas acciones mínimas reforzaría la efectividad del Cuerpo de Bomberos en la respuesta a los problemas actuales y futuros de incendios forestales de Argelia.

Agradecimientos

Agradecemos sinceramente a la Dirección General de Bosques en Argelia por poner a nuestra disposición los documentos necesarios para nuestra investigación, y a los doctores Vittorio Leone y Giovanni Bovio por su lectura crítica del manuscrito y las sugerencias que mejoraron la claridad y presentación del material.

References

- Alexandrian, D., Esnault, F., Calabri, G. 1999.** Forest fires in the Mediterranean area. An analysis of trends in forest fire occurrences in the Mediterranean, including comments on underlying policy-related causes. *Unasylva*, 197, 50, 35-41.
- Arfa, A.M.T., Benderradji, M.E.H., Alatou, D.j. 2009.** Analyse des bilans des incendies de forêt et leur impact économique en Algérie entre 1985-2006. *NEW MEDIT* N.1/2009.
- Bureau National des Etudes du Développement Rural (BNEDER). 2009.** Plan national de développement forestier (Pndf) rapport de synthèse nationale, Alger.
- Chandoul, H. 1986.** Le problème des feux de forêts en Tunisie. Paper presented at a seminar on Methods and Equipment used to Prevent Forest Fires, Valencia, Spain, 29 September-4 October 1986. 15 pp. + annexes.
- Dimitrakopoulos, A. 1995.** Analyse des causes des feux de forêt en Grèce. *Options Méditerranéennes, Série A. Séminaires Méditerranéens*, 25 : 33-40.
- Dimitrakopoulos, A.P., Mitsopoulos, I.D. 2006.** Global forest resources assessment 2005. Report on fires in the Mediterranean Region. Working paper FM/8/E, Forestry Department, FAO. Rome, 43 p. [online] URL: <http://www.fao.org/docrep/009/j7564e/j7564e00.htm> accessed 06.04.2012
- Grim, S. 1989.** Le pré-aménagement forestier. Alger ad.CEE et Ministère de l'hydraulique d'Algérie, 1989.

- Madoui A., 2000.** Forest fires in Algeria and the case of the domanial forest of Bou-Taleb. *Inter. Forests Fires News*: 9-15
- Meddour-Sahar, O., Derridj, R. 2012.** Bilan des feux de forêts en Algérie: Analyse spatiotemporelle et cartographie du risque (Assessment of forest fires in Algeria: Spatiotemporal analysis and risk mapping, 1985-2010). *Sécheresse*-23 (2) : 133-141. doi : [10.1684/sec.2012.0342](https://doi.org/10.1684/sec.2012.0342)
- Meddour-Sahar, O., Meddour, R. , Lovreglio, R. ; Derridj, A. 2012.** Analysis of forest fires causes and their motivations in north Algeria: the Delphi technique. Unpublished draft supplied by author.
- Vélez, R.1999.** Protection contre les incendies de forêt : principes et méthodes d'action. CIHEAM, Zaragoza. *Options Méditerranéennes*, Série B : Études et Recherches No. 26, 118 p.
- Zitan, A. 1986.** Les feux de forêts au Maroc. Paper presented at a seminar on Methods and Equipment used to Prevent Forest Fires, Valencia, Spain, 29 September-4 October 1986. 24 pp.

Caracterización de Combustibles Forestales Mediante un Muestreo Directo en Plantaciones Forestales¹

Eva Reyna Esmeralda Díaz García², Marco Aurelio González Tagle³, Javier Jiménez Pérez³, Eduardo Javier Treviño Garza³, y Diana Yemilet Ávila Flores²

Resumen

Uno de los elementos esenciales para que ocurra un incendio es el material combustible el cual se define como toda biomasa que tenga la capacidad de encenderse y arder al ser expuesto a una fuente de calor, la caracterización de combustibles en los ecosistemas forestales en México se da muy escasamente. Sin embargo, es de fundamental importancia para la estimación de la inflamabilidad y el peligro de incendios forestales, el comportamiento del fuego, la evaluación de sus efectos ecológicos, y la toma de decisiones fundamentales para prácticas de manejo de fuego. El objetivo del presente trabajo fue conocer la carga de combustibles en una plantación de *Eucalyptus sp.*, a la cual no se le ha dado ningún tipo de manejo durante los últimos 20 años con el fin de proponer acciones y herramientas de manejo para la prevención de incendios forestales. La estimación de la carga de combustibles se llevo a cabo mediante la técnica de *intersecciones planares*, descrita por James. K Brown (1974) adaptada por Sánchez y Zerecero (1983). Para la realización del presente trabajo el área de estudio se divido en 5 sitios, en cada uno se busco el centro para marcar un punto de control, a partir de este se establecieron cuatro líneas de muestreo de 20 m de largo, en dirección hacia los puntos cardinales. Donde se levanto la información del inventario de combustibles leñosos registrando las intercepciones de estos combustibles de acuerdo a su tiempo de retardo también se realizo la medición de la capa orgánica o combustibles ligeros, para esto se emplearon los parámetros de profundidad y peso, a lo largo de las líneas de muestro se distribuyeron cuatro cuadrantes de .25 m² cada 5, 10, 15, y 20 m donde se midió la profundidad y se colecto el material contenido en 1m², se tomo el peso *in situ* y el peso seco en laboratorio. Para el procesamiento de estos datos e utilizaron las formulas descritas en la técnica anteriormente mencionada. Los resultados indican que la carga total de combustibles forestales para la plantación fue de 53.65 ton/ha, los combustibles leñosos

¹ Una versión abreviada de este trabajo se presentó en el Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación, y Economía de Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales, 5-11 de noviembre de 2012, Ciudad de México, México.

² Estudiante de la Facultad de Ciencias Forestales Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares N.L México; Email: eva.g18@hotmail.com.

³ Profesor Investigador de la Facultad de Ciencias Forestales Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares N.L México.

representan el 70% de esta acumulación con 39.62 ton/ha, la capa orgánica contribuye con 16.81 ton/ha representando el 30% de la carga total de los combustibles. Esta gran acumulación se debe principalmente a la falta de manejo de la plantación se recomienda implementar estrategias de manejo de combustibles para mantener las acumulaciones al mínimo sin descuidar la protección del suelo, y así poder reducir el riesgo de incendios forestales.

Palabras clave: combustibles forestales, inventario de combustibles, incendios forestales.

Introducción.

Los incendios son uno de los grandes enemigos de los recursos forestales, los cuales junto con las plagas y enfermedades son causas de mortalidad de árboles, convirtiéndose estos a su vez, en factores importantes de la degradación y deforestación. Durante los últimos años México se ha visto afectado de manera significativa por los incendios que se presentan cada año, siendo un factor ecológico y uno de los fenómenos más comunes en nuestros ecosistemas forestales sobretodo en las épocas de sequia donde el riesgo de incendios aumenta principalmente por la gran acumulación de combustible orgánico seco; sin embargo en México la principal causa de la alta ocurrencia de incendios se debe a la acción humana ya que más del 90% de los incendios que se presentan año con año, son debido a prácticas tradicionales de uso inadecuado del fuego para la agricultura y quemas intencionales por diversas razones en zonas forestales.

Para que un incendio se desarrolle se necesita la interacción de factores biológicos que influyen en la ocurrencia y comportamiento de los incendios forestales, estos factores son principalmente el clima, el tiempo atmosférico, la topografía del lugar y el material combustible (DeBano 1998). Siendo estos últimos una variable de gran importancia que determinan el peligro establecimiento y desarrollo de los incendios forestales, ya que estos materiales influyen directamente en el comportamiento del fuego.

Combustibles Forestales

El combustible forestal está constituido por materiales leñosos y ligeros, vivos o muertos, son toda la materia vegetal presente en un ecosistema que posee la capacidad de encenderse y arder al ser expuesto a una fuente de calor, estos combustibles son el resultado del proceso natural de caída de hojas, acículas, ramas y humus; aunque también se debe a las actividades del hombre, por ejemplo en los aprovechamientos forestales. Los combustibles forestales se clasifican bajo diferentes criterios de acuerdo a su peso, tamaño, estado de descomposición, ubicación, sin

embargo la clasificación más usada es de acuerdo a su tiempo de retardo. Es decir el tiempo que tarda un combustible vegetal muerto en ganar o perder, dos terceras partes de la diferencia entre su contenido de humedad inicial y su contenido de humedad de equilibrio con respecto al ambiente (Brown 1982). Entre más grande sea el combustible perderá o ganara humedad más lentamente, tendrá un mayor tiempo de retardo. De esta forma el diámetro establecerá el tiempo de retardo de un combustible.

Tabla 1—*Clasificación de combustibles forestales.*

Diámetro	Tiempo de retardo	Tamaño y Peso
Menor a 0.6 cm	1 hora	Finos/ Livianos
De 0.6 a 2.5 cm	10 horas	Pequeños/Ligeros
De 2.6 a 7.5 cm	100 horas	Regulares/ Medianos
Mayor a 7.5 cm	1000 horas	Grandes/Pesados

Los combustibles de una hora también llamados **combustibles finos** como hojas y ramillas se encienden fácilmente y son consumidos rápidamente por el fuego cuando se encuentran secos. Los combustibles de diez horas conocidos como **combustibles ligeros** están constituidos por ramillas. Los combustibles de cien horas o **combustibles medios** están definidos por ramas. En cuanto a los combustibles de mil horas se les denomina **combustibles pesados**, como ramas gruesas y troncos. Además en esta categoría se diferencia entre los troncos o ramas que se encuentran en estado de pudrición y los que se encuentran en un estado firme o sin pudrición. Aunque todos estos combustibles protegen al suelo, es necesario que la capa que forman no sea tan profunda, para que no facilite la dispersión del fuego. Debido a esto se requiere implementar estrategias de manejo de combustibles que favorezcan su reducción, sin descuidar la protección del suelo. Para esto se debe caracterizar los combustibles y conocer su distribución espacial.

Estimación de Combustibles Forestales

La estimación de la carga de combustibles se llevo a cabo mediante la técnica de intersecciones planares, metodología descrita por James. K Brown (1974) adaptada para México por Sánchez y Zerecero (1983). La cual consiste en el conteo de las intercepciones de las piezas leñosas en planos de muestreo verticales, similares a “guillotinas que cortan” los combustibles caídos y que en el terreno se marca con una línea de muestreo. Algunas reglas básicas de esta técnica son:

1. La medición de estos combustibles debe comprender el material leñoso muerto (ramillas, tallos, ramas o tocones) de árboles y arbustos, que hayan caído a la superficie del suelo y que se han separado de la fuente original de crecimiento. Por tanto se omitirán las ramas muertas que están fijadas a los troncos de árboles en pie.
2. Se consideraran las ramas o ramillas que estén dentro o sobre la capa de hojarasca. Sin embargo, no serán medidas si la ramilla se encuentra dentro de la capa de humus.
3. Si el plano de muestreo intercepta la parte final de una troza, esta sólo se medirá si el plano de muestreo cruza el eje central de la misma.
4. No se medirán aquellas piezas cuyo eje central coincida exactamente con la línea de muestreo, lo cual ocurre raramente.
5. Si el plano de muestreo intercepta más de una vez una pieza curvada, se medirá cada intersección.
6. Si se encuentran astillas y trozas dejadas después del aprovechamiento, se debe visualizar la forma de estas piezas dentro de cilindros para determinar el tamaño de clase o registrar los diámetros.
7. Se deben medir los tocones enraizados o no, que no estén cubiertos por tierra, para lo cual se considera a los tocones no fijos como troncos de árboles o raíces individuales, dependiendo de donde son interceptados por la línea de muestreo. No se deben medir tocones sin alteración.

Metodos

Área de estudio

El area de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Linares Nuevo León a una altitud de 350 m.s.n.m en las coordenadas 24°47' de latitud Norte y 99°32' de longitud Oeste (SPP-INEGI1986) a la altura del kilometro 145 de la Carretera Linares - Ciudad Victoria, corresponde a una plantacion de *Eucalyptus microtheca*, y *Eucalyptus camaldulensis* que posee una superficie aproximada de 1.98 ha. Esta plantacion se localiza dentro del campus experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Delimitación de parcelas.

El área de estudio se divido en dos cuadrantes (CI y C II). En el CI se delimitaron tres sitios de las siguientes dimensiones 40 metros x 40 metros, con una superficie aproximada de 1,600 m², para el cuadrante II se delimitaron dos parcelas de las

mismas dimensiones. Se considera que es un tamaño aceptable de parcela experimental comparado con las utilizadas por Flores y Benavides (1994 y 1995) que son de 20 metros X 30 metros, y las utilizadas por Alvarado (1988) en dos de sus trabajos, que miden 10 metros X 20 metros.

Variables medidas

Las variables de los combustibles fueron: PROF y PE-HO/HU, profundidad y peso de la hojarasca y humus (cm); PE-CO peso de la capa orgánica (t/ha) PE-1HR, peso de combustibles con tiempo de retardo de 1 h (t/ha); PE-10 HR, peso de combustibles con tiempo de retardo de 10 h (t/ha); PE-100 HR, peso de combustibles con un tiempo de retardo de 100 h (t/ha); PE-1 000 HR FIRME, peso de combustibles firmes con un tiempo de retardo de 1 000 h (t/ha); y PE-1 000 PODRIDO peso de combustibles podridos con un tiempo de retardo de 1 000 h (t/ha).

Diseño de Muestreo

Estas mediciones se realizaron bajo el siguiente diseño de muestreo. Para la medición de estas variables en cada sitio se establecieron cuatro líneas de muestreo teniendo un total de 20 líneas de muestro por hectárea lo cual es aceptable ya que como regla general según para cualquier área se sugiere inventariar de 15 a 20 líneas, intensidad que producirá estimaciones con un porcentaje de error de 20% o menos (Sánchez y Zerecero 1983). La longitud de las líneas fue de 20 m de largo, en dirección hacia los puntos cardinales.

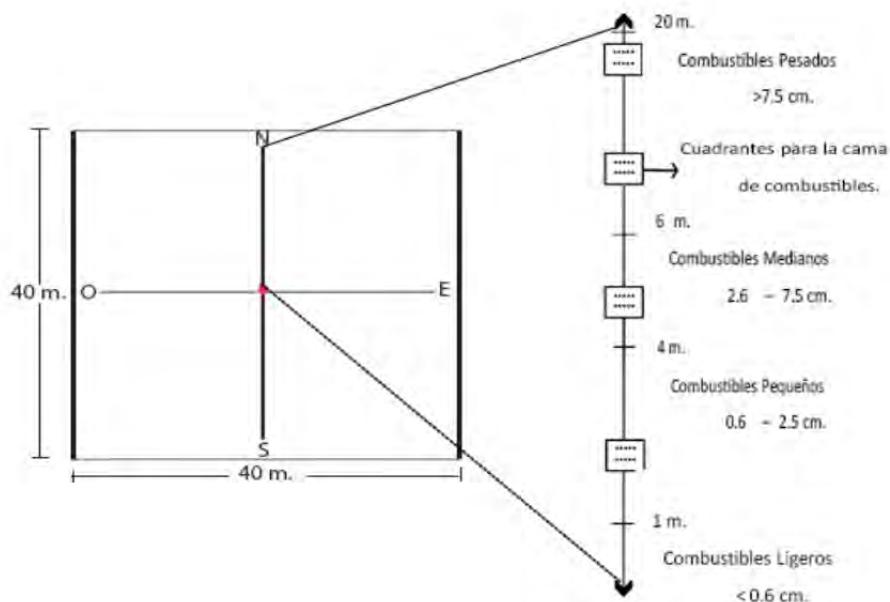


Figura 1—Diseño de muestreo. La longitud total de la línea de muestreo es de 20 m, dividida en secciones para registrar la frecuencia de combustibles por categoría diamétrica, así mismo se indica, la ubicación de los cuadrantes para la evaluación de la cama combustibles.

En el primer metro de la línea se registraron las frecuencias de los combustibles con una diámetro < 0.06 cm, (PE-1HR) en los cuatro metros se registraran los combustibles con un diámetro de 0.6-2.5 cm, (PE-1OHR) en los siguientes 6 metros se registraran los combustibles con diámetro de 2.6-7.5 cm, (PE-100 HR) y finalmente en los 20 metros se registraran los combustibles con diámetro >7.5 cm y el estado en el que se encontraban FIRMES y PODRIDOS (PE-1 000 HR). Se utilizó un calibrador para la medición de las categorías de combustibles leñosos con las medidas previamente establecidas.

Para la evaluación de capa orgánica (imagen 1) se distribuyeron cuatro cuadrantes de .25 m² cada 5, 10, 15, y 20 m a lo largo de la línea de muestreo donde se midió la profundidad de la capa de materia orgánica y el humus. Para determinar el peso de hojarasca en cada cuadrante se colectó el material contenido en 1m², se tomó el peso *in situ* y el peso seco en laboratorio para el cálculo de materia seca por hectárea.



Imagen 1—A la izquierda se observan las líneas de muestreo establecidas en campo para el levantamiento del inventario de combustibles forestales. Así mismo a la derecha un ejemplo del uso del calibrador para la medición de material combustible interceptado por la línea de muestreo.

Cálculo de Peso de los Combustibles Forestales

El conjunto de datos derivados del inventario de combustibles fue evaluado en una base de datos creada en Excel mediante fórmulas, de acuerdo a Sánchez y Zerecero (1983), que determinan la cantidad de combustibles en toneladas por hectárea.

Tabla 2—*Formulas usadas para la estimación de combustibles forestales.*

TAMAÑO DE CLASE (cm)	FORMULA
0-0.6	$p = 0.484 \times f \times c$ NI
0.6-2.5	$p = 3.369 \times f \times c$ NI
2.5-7.5	$p = 36.808 \times f \times c$ NI
>7.5 (sin pudrición)	$p = 1.46 \times d^2 \times c$ NI
> 7.5 (con pudrición)	$p = 1.21 \times d^2 \times c$ NI

Donde **p** es el peso de combustibles, expresado en toneladas métricas por hectárea, **f** es la frecuencia o número de intercepciones, **c** es el factor de corrección por pendiente, **d²** es la suma de cuadrados de los diámetros de las ramas y trozas, y **NI** es la longitud total de la línea de muestreo o suma de las longitudes de las líneas; dada en pies lineales.

Para obtener el peso de la hojarasca o combustible liviano en toneladas por hectárea las muestras obtenidas se secaron en una estufa de secado a 75 °C hasta que alcanzaron un peso constante y se procedió a hacer la conversión a toneladas de hojarasca por hectárea. Con los datos obtenidos de profundidad de hojarasca se obtuvo la media aritmética de todos los sitios.

Resultados y Discusión.

A continuación se muestran los valores obtenidos del inventario de combustibles forestales.

Tabla 3—Carga de combustibles presentes en el área de estudios, así mismo se indica la media aritmética de la profundidad obtenida en las mediciones de la capa orgánica.

Carga de combustibles presentes en el área de estudio de acuerdo a su tiempo de retardo (Ton/ha)								
SITIO	1 H	10 H	100 H	1 000 H s/p	1 000 H c/p	Ligeros (MO)	Total	Profundidad CO (cm)
I	0.44	1.21	8.88	0	0.58	3.08	14.19	2.86
II	0.62	1.92	0.46	0	0	2.96	5.96	4.44
III	0.47	1.21	5.14	0	1.69	3.51	12.02	4.33
IV	0.73	2.18	2.80	0	0.58	4.16	10.45	3.21
V	0.59	2.24	7.01	0	0.86	3.10	13.81	3.07
Ton/ha =	2.87	8.71	24.31	0	3.73	16.81	56.43	

La mayor cantidad de combustibles forestales se encontraron en los sitios I y V (figura 2) en donde gráficamente se puede observar que estos dos sitios se encuentran casi en un mismo rango; así mismo en el sitio II se observa la menor acumulación de combustible.

Cargas Totales de Combustibles Forestales.

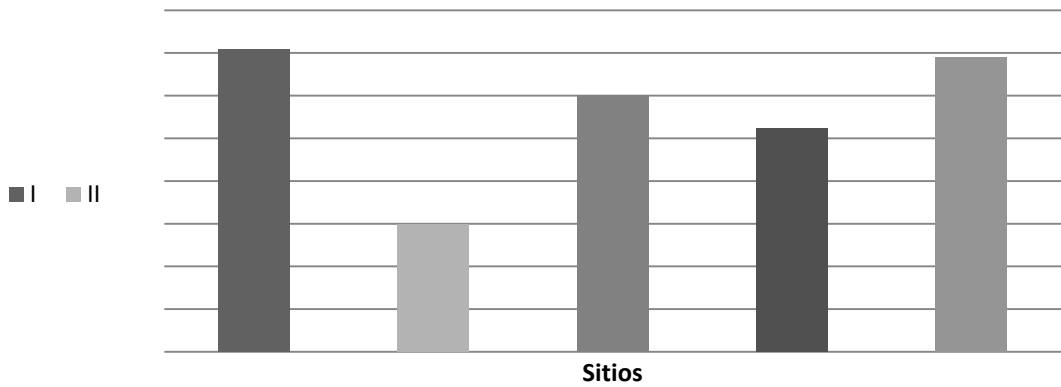


Figura 2—Cargas totales de combustibles forestales por sitio.

Los combustibles forestales que más se representaron para el área de la plantación son los combustibles con tiempo de retardo de de 100 h los cuales representan el 70% del material leñoso presente que fue de 39 .65 ton /ha de los cuales 24. 31 ton /ha corresponde a estos materiales. Los combustibles de 1h presentaron la menor acumulación contribuyendo solo con 2. 87 ton/ha.

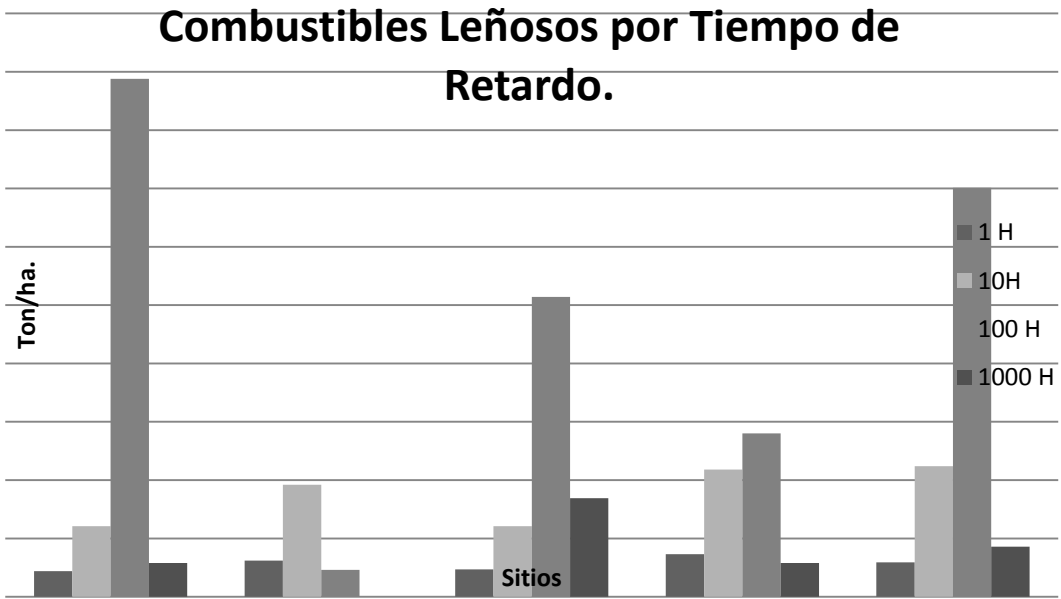


Figura 3—Combustibles leñosos por tiempo de retardo (ton/ha).

La carga de combustibles de la Capa orgánica contribuye con 16.81 ton/ha representando el 30 % de la carga total presente en el ara de estudio. Se puede observa que la mayor acumulación de combustibles ligeros se presenta en el sitio IV en contraste la menor acumulación de estos combustibles se presenta en el sitio II.

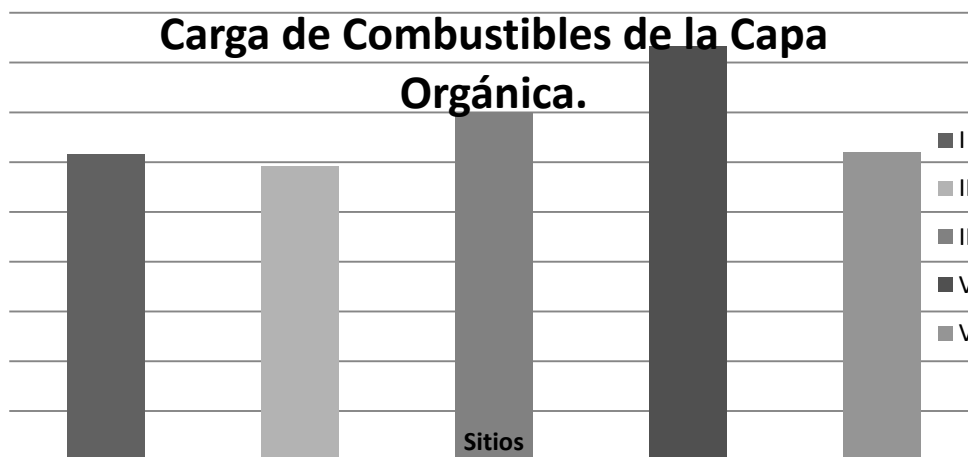


Figura 4—Carga de combustibles de la capa orgánica.

La media aritmética de la profundidad la capa orgánica para toda el área de estudio fue de 3.58 cm. La profundidad los sitios I y III se encuentran en un mismo rango, esto es similar para los sitios VI y V, para el sitio I la capa de materia orgánica presenta menor profundidad.



Figura 5—Profundidad de la capa orgánica.

Conclusión

Estos resultados indican que debido a la ausencia de manejo se encuentra una gran acumulación de combustibles forestales lo que aumenta la probabilidad de incendios.

Se recomienda implementar herramientas de manejo de combustibles como la remoción mecánica del mismo o bien mediante una quema controlada para reducir la disponibilidad de combustibles tomando en cuenta los lineamientos establecidos en la NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007.

Además, a largo plazo se debe monitorear el tiempo de acumulación de combustibles, para de esta manera establecer un ciclo de control de combustibles controladas y de esta forma al mínimo la acumulación de combustibles forestales.

Referencias

- Alvarado C.E. 1988.** Estimación del consumo por el fuego de combustibles forestales en rodales de *Pinus montezumae* Lamb. Combustibles muertos. Agrociencia 72: 74-85 pp. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Bermúdez M.E; Anima J.B; Hernández J.A; González J.C. 2008.** Criterios para Evaluar Combustibles en Áreas Forestales. INIFAP. Folleto Técnico Núm 3. Primera Edición.35p.
- Brown, J.K. 1974.** Handbook for inventorying downed woody material. USDA Forest Service. General Technical Report INT – 16. Utah, USA. 24 p
- DeBano, L. 1998,** Fire's Effects on Ecosystems, John Wiley and Sons, Inc.
- Flores Garnica, J.G., Benavides S., J. de D. 1994.** Efecto de dos tipos de quemas controladas en bosques de pino en Jalisco. Folleto técnico Núm. 5. CIPAC-JALISCO, INIFAP, SARH. México. 12 p.
- Flores Garnica, J.G., Moreno G., A.D. Morfín R., J.E. 2010.** Muestreo Directo y Fotoseries en la Evaluación de Combustibles Forestales. INIFAP. Folleto Técnico Núm. 4. Primera Edición. 69 p.
- Flores Garnica, J.G., Xhelhuantza C., J., Chávez D., A. 2010.** Evaluación del Impacto Ambiental de Incendios Forestales en el Bosque de la Primavera. INIFAP. Folleto Técnico Núm. 5. Primera Edición. 109 p.
- Nájera D., A. 2004.** Manejo de combustibles forestales. Apuntes de la materia Control y Uso del Fuego. Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA. 2007.** Que establece las especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario.
- Sánchez, C.J., Zerecero, L.G. 1983.** Método practico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. Nota Divulgativa No 9 CIFONOR – INIF. México. 11 p.

This publication is available online at www.fs.fed.us/psw/. You may also order additional copies of it by sending your mailing information in label form through one of the following means. Please specify the publication title and series number.

Fort Collins Service Center

Web site	http://www.fs.fed.us/psw/
Telephone	(970) 498-1392
FAX	(970) 498-1122
E-mail	rschneider@fs.fed.us
Mailing address	Publications Distribution Rocky Mountain Research Station 240 West Prospect Road Fort Collins, CO 80526-2098

Pacific Southwest Research Station
800 Buchanan Street
Albany, CA 94710



Federal Recycling Program
Printed on Recycled Paper