

# El Efecto de la Interfaze Urbana-Forestal en el Coste de los Fuegos Prescritos en el Nordeste Pacífico de los EE.UU.<sup>1</sup>

Hayley Hesseln,<sup>2</sup> Alison H. Berry<sup>3</sup>

## Resumen

La política de extinción de incendios en los terrenos públicos americanos del último siglo ha dado lugar a un aumento en la cantidad de material combustible, haciéndose necesario el uso de fuegos prescritos y de tratamientos mecánicos para reducir la presencia de combustibles peligrosos y el riesgo de incendios forestales catastróficos. Aún estando muy extendidas estas prácticas, existe una gran variabilidad en el coste de los proyectos, lo que hace difícil la planificación. Estudios previos han examinado los factores que afectan al coste de gestión, pero se encuentran con la falta de datos consistentes y fiables. Este estudio utiliza la base de datos FASTRACS (Fuel Analysis, Smoke Tracking, and Report Access Computer System) de la Región del Nordeste Pacífico del Servicio Forestal. La base de datos proporciona información sobre coste, características físicas del lugar, y problemas de gestión para las actividades de gestión de materia combustible desde 1993 al presente. Por medio de análisis de regresión múltiple, se han identificado influencias importantes sobre el coste de gestión de combustibles. Los proyectos realizados en la interfase urbana- forestal mostró de manera consistente un mayor coste de tratamiento tanto para los fuegos prescritos como para los tratamientos mecánicos.

## Introducción

En los últimos años, los incendios forestales han ocupado el primer plano del interés público. Décadas de extinciones exitosas de incendios forestales durante el siglo XX han dado lugar a niveles anormalmente elevados de materiales naturales combustibles que si se inflaman podrían dar lugar a incendios catastróficos (Arno y Brown 1991). La reducción de la cantidad de materia combustible tiene una importancia añadida en la interfase urbana – forestal (WUI), en la que una población creciente hace más compleja la gestión de los materiales combustibles (Snyder 1999). En las áreas pobladas, las consideraciones estéticas, la calidad del aire, la protección de estructuras, y los riesgos añaden nuevas dimensiones a los proyectos de gestión. Esta complejidad puede aumentar el coste; sin embargo, existe poca información disponible sobre la relación existente entre la WUI y el coste de los proyectos de gestión.

---

<sup>1</sup> Una versión abreviada de este artículo se presentó en el segundo simposio internacional sobre políticas, planificación y economía sobre la defensa contra los incendios forestales: una visión global, 19-22 de Abril de 2004, Córdoba, España.

<sup>2</sup> Profesor Asociado, Departamento de Economía Agrícola, Universidad de Saskatchewan, Saskatoon, SK Canadá, correo electrónico: h.hesseln@usask.ca.

<sup>3</sup> MS Bozeman, Montana, correo electrónico: ahberry@yahoo.com.

Los estudios de coste se han centrado normalmente en factores de gestión, de explotación, o físicos, pero raramente combinando los tres. De manera similar, los estudios están frecuentemente centrados en tratamientos mecánicos de los materiales combustibles o en los fuegos controlados. Por último, la investigación entre las distintas agencias ha sido difícil debido a la falta de datos consistentes. A pesar de ello, Cleaves y otros (1999) analizaron las tendencias e influencias sobre el coste de las quemadas controladas en el sistema de Bosques Nacionales durante el periodo entre 1985-1994. De manera similar, Rideout y Omi (1995) examinaron los datos económicos de la gestión de materias combustibles en un ámbito nacional, utilizando una base de datos del Servicio de Parques Nacionales. La base de datos incluía información sobre el proyecto, características del lugar físico, y factores administrativos. Utilizando un modelo de elasticidad constante de coste decreciente con aumento de escala, hallaron que el coste del tratamiento de materia combustible varió con respecto a los objetivos de las iniciativas de gestión. En el tratamiento de materiales combustibles se identificaron dos objetivos generales: mantenimiento o restauración de ecosistemas y reducción de peligros de combustión. Se encontró una mayor precisión en las estimaciones del coste para los tratamientos tradicionales de reducción de peligros, en comparación con los tratamientos de gestión de ecosistemas. Rideout y Omi también observan la ausencia de datos disponibles sobre costes y aboga por más pruebas entre las agencias, más propósitos de tratamiento de combustibles, y más tiempo.

Con respecto a los tratamientos de materia combustible en la interfase urbana - forestal, la investigación ha ganado en importancia y en complicación. En los últimos años, ha habido un aumento de la migración a la periferia rural, (Synder 1999, Davis 1990) lo que ha dado lugar a un aumento de las controversias sobre quién es el responsable de la protección de estructuras (Bakken 1995). Mientras que varios estudios sobre la interfase urbana - forestal se han centrado en las actitudes y expectativas públicas, hay unos pocos que examinan el efecto de la WUI en los costes.

La Política Federal Forestal de 1995 insta a los directores federales a poner en práctica planes de gestión de materiales combustibles de acuerdo con principios ecológicos y económicos (USDI/USDA 1995). Al asignar los fondos, los gestores de territorios buscarán en los análisis económicos las respuestas a las cuestiones sobre la gestión de materiales combustibles. Mientras que es obvio que el coste de gestión de materiales combustibles pueden ser muy variables, ha sido difícil identificar las fuentes de variación, frecuentemente debido a la falta de datos disponibles; con frecuencia, los registros son incompletos o no existen.

Este estudio pretende examinar el coste utilizando un análisis regional de datos de gestión de materiales combustibles del USDA Forest Service (FS) y del USDI Bureau of Land Management (BLM). Prestamos particular atención a la influencia de la WUI en el coste de gestión de materia combustible. Desarrollamos dos ecuaciones de regresión para estudiar los factores que afectan al coste de las quemadas controladas, y para los tratamientos mecánicos de los materiales combustibles. Es necesario derivar dos ecuaciones dada la diferencia existente en las variables recogidas para cada proyecto de gestión. Empezamos discutiendo nuestra metodología y supuestos, y los resultados de la regresión, y concluimos con una discusión de nuestros resultados.

## Metodología

El Servicio Forestal y la BLM de la región del Nordeste Pacífico del en Oregon y Washington han estado siguiendo proyectos de gestión de materiales combustibles durante casi una década como parte de del Sistema Informatizado de Análisis de Combustibles, Rastreo de Humo, y Acceso a Informes (FASTRACS). Este sistema permite a los gestores registrar información de proyectos de gestión de materiales combustibles incluyendo coste, características físicas de los lugares, y factores de gestión. En su forma más amplia y sin editar, la base de datos contiene 18.600 observaciones con 196 categorías de datos, con representación de los años 1993 a 2002, con la mayor parte de la información entre 1999 a 2001. La mayor parte de los datos proceden de los Distritos Forestales del Servicio Forestal (FS) y de las Áreas de Recursos de la BLM.

Tanto para los análisis mecánicos y como de los incendios, nos hemos centrado únicamente en los años posteriores a la entrada en vigor del Plan Nacional contra Incendios; comenzando en otoño de 2000, Esta legislación ha facilitado más fondos a los gestores de combustibles para el tratamiento de materia combustible; por tanto, es lógico que la estructura del coste anterior a esta legislación fuera algo distinta de la que siguió. En general, sólo el 17% de los tratamientos mecánicos y por fuego en FASTRACS tuvieron lugar antes o durante 2000, ocurriendo el 83% restante en 2001 y 2002. Un test t de ambas bases de datos indicó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en costes durante 2000 frente a los años 2001 y 2002. Además, un estudio preliminar de la base de datos mecánica indicó una fuerte evidencia (test t,  $p < 0,001$ ) de que los costes difirieron entre 2001 y 2002. Por tanto, hemos utilizado únicamente datos de 2001 en el análisis de los tratamientos mecánicos. Para los tratamientos mediante incendio, no hubo una diferencia observable entre 2001 y 2002 (test t,  $p = 0,326$ ), por tanto, se incluyeron los registros de ambos años. Tomando como base estudios previos, la disponibilidad de datos, y su grado de completitud, seleccionamos variables que han sido fundamentales para explicar el coste de tratamiento. Los datos incluyen información sobre el lugar físico, factores de gestión y administración, e información operativa. Para ver el listado completo, véanse los Apéndices A y B.

Los factores fueron seleccionados por eliminación retrospectiva basada en sumas adicionales de test F de cuadrados. Los criterios de eliminación fueron  $p > 0,100$ , Para las variables de categoría tales como el tipo de actividad y estación, por ejemplo, los niveles de referencia se probaron para valorar la significación. Los niveles de variables de categoría se retuvieron o eliminaron como grupo. Para valorar el papel de la interfase urbana - forestal, se incluyó una variable indicadora de WUI en los análisis de los tratamientos por fuego y de los tratamientos mecánicos. Primero ajustamos un a modelo rico con el mayor número posible de variables independientes y luego trabajamos en el proceso de eliminación retrospectivo. Las ecuaciones resultantes para los tratamientos mecánicos de los materiales combustibles y de los fuegos controlados se describen en (ec. 1) y (ec. 2),

$$\begin{aligned} \ln CPA = & \beta_0 + \beta_1 WUI + \beta_2 DPA + \beta_3 \ln Acres + \beta_4 Slope + \\ & \beta_5 Winter + \beta_6 Summer + \beta_7 Fall + \beta_8 Handpile + \beta_9 MachinePile \\ & + \beta_{10} MachineLeave + \beta_{11} Ladder + \beta_{12} Thinning + \beta_{13} PCT + \\ & \beta_{14} FRI + \beta_{15} FRIII + \beta_{16} FRIV + \beta_{17} NaturalFuels + \beta_{18} NFPproject, \end{aligned} \quad [1]$$

$$\begin{aligned} \ln CPA = & \beta_0 + \beta_1 WUI + \beta_2 DPA + \beta_3 \ln Acres + \beta_4 Slope + \\ & \beta_5 Elevation + \beta_6 Cascade + \beta_7 Broadcast + \beta_8 MachinePile + \beta_9 HandPile \\ & + \beta_{10} LandingPile + \beta_{11} Defensible + \beta_{12} WUI + \beta_{13} EcoSys + \beta_{14} 4x4 + \\ & \beta_{15} 6x6 + \beta_{16} 8x8 + \beta_{17} HarvOther + \beta_{18} WholeTree + \beta_{19} BrushGrass \\ & + \beta_{20} DougFir + \beta_{21} Lodge + \beta_{22} Mixed + \beta_{23} FRII + \beta_{24} FRIII + \beta_{25} FRIV \\ & [2] \end{aligned}$$

donde, la variable dependiente es la transformación del logaritmo natural del coste. También se ajustaron los costes para la inflación utilizando el deflactor de PIB hasta el año 2000, Las variables independientes son la WUI, el área de protección designada (DPA), el logaritmo neperiano de acres (lnAcres), pendiente y elevación, estación, método de actividad, régimen de incendios, indicador de combustibles naturales, proyecto NFP, objetivos y tipos de materia combustible.

## Resultados

Primero se presentarán los resultados para el modelo de tratamiento mecánico, y luego para el modelo de fuego controlado. Pasaremos entonces a una discusión general de los resultados.

### **Tratamientos mecánicos de los combustibles**

Los factores incluidos en la ecuación de regresión final (Ecuación 1) para calcular el coste de los tratamientos mecánicos son el indicador de WUI, el indicador de área de protección designada, lnAcres, pendiente media, estación, tipos de actividad, régimen de incendios, indicador de combustibles naturales e indicador de proyecto del Plan Nacional Contra Incendios. Los factores de varianza de inflación no indicaron colinealidad (VIF < 10). Los coeficientes, tests t y los intervalos de confianzas del 95% de cada variable se muestran en la Tabla 1.

$$\begin{aligned} \ln CPA = & 0,219 + 1,271WUI + 0,469DPA - 0,190\ln Acres + 3,203-2Slope + \\ & 0,988Winter + 0,943Summer + 1,293Fall + 1,447Handpile + 1,375MachinePile - \\ & 0,125MachineLeave + 0,774Ladder - 0,694Thinning + 1,391PCT + 1,693FRI + \\ & 1,925FRIII + 2,061FRIV + 0,967NaturalFuels - 0,607NFPproject \quad (1) \end{aligned}$$

La regresión da cuenta del 57,8% (R cuadrado ajustado 0,578) de la variación en la variable dependiente observada, lnCPA, basada en 526 observaciones (Tabla 1).

Tomando como base las sumas adicionales del test F de cuadrados, las variables de regresión eran fuertemente significativas ( $p < 0,02$ ) con la excepción de lnAcres ( $p = 0,2889$ ). La variable lnAcres se retuvo con fines prácticos para la estimación de costes. El efecto estimado del número de acres tras las transformaciones antilogarítmicas de las variables dependientes e independientes indica que a medida que se duplica el número de acres, el coste aumenta en un factor de 0,927 (intervalo de confianza del 95% {0,851 a 1,0069}). Si el número de acres aumenta diez veces, el coste aumenta en un factor de 0,778 (intervalo de confianza del 95% {0,586 a 1,030}). Estas economías de escala también encuentran apoyo en la literatura (Rideout y Omi 1995, Jackson y others 1982).

Hubo una evidencia muy fuerte (test t, valor de  $p < 0,001$ ) de que la variable de indicador de interfase urbana - forestal tuvo un efecto sobre el coste por acre. Tras la

transformación antilogarítmica, la estimación del coeficiente del indicador de WUI es de 3,56 (intervalo de confianza del 95% {2,52 a 5,05}) lo que indica que el coste es casi cuatro veces mayor en las áreas de WUI. También hubo una fuerte evidencia (test t, vapor  $p = 0,011$ ) de que el indicador de área de protección designada tuvo un efecto sobre el coste por acre. >El efecto del DPA fue de 1,60 (intervalo de confianza del 95% {1,11 a 2,29}), indicando que las actividades mecánicas en áreas protegidas están asociadas con unos costes por acre un 60% superiores a los de las áreas no protegidas.

La pendiente tuvo un efecto positivo pequeño pero significativo, lo que significa que los aumentos de pendiente están asociados con unos ligeros incrementos en el coste por acre. El indicador de combustibles naturales también tuvo un efecto positivo, lo que sugería que el coste está asociado con los combustibles naturales en contraposición con los combustibles de actividades humanas o los ‘indeterminados.’ Hubo un efecto negativo del indicador de proyecto de NFP, lo que demuestra que los proyectos de NFP tienden a disponer de un coste de producción inferior a los proyectos no-NFP para tratamientos mecánicos.

en la ecuación de regresión final se incluyeron tres variables de categoría multinivel; estación, tipo de actividad, y régimen de incendios. Los niveles de referencia para estas variables fueron primavera, ‘recogida de hojas manual,’ y régimen de incendios II, respectivamente, y por lo que no se mostraron en la regresión. Los coeficientes indican que el costes de actividad mecánica se estimaron ser significativamente más altos en todas las estaciones cuando se compararon con las actividades de primavera (test t,  $p < 0,02$ ). Además, el régimen de incendios II estaba asociado con un coste por acre menores que los de los regímenes de incendios I, III, y IV (test t,  $p < 0,001$ ).

Tabla 1--Coeficientes, tests t, e intervalos de confianza del 95% para variables independientes en el modelo de regresión para tratamientos mecánicos del año 2001.

**Mechanical Treatments 2001<sup>a</sup>**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
	B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
(Constant)	.219	.542		.404	.686	-.846	1.285
ind.WUI	1.271	.177	.270	7.194	.000	.924	1.619
DesignatedProtectionArea	.469	.184	.102	2.553	.011	.108	.830
LNACRES	-.109	.062	-.058	-1.750	.081	-.232	.013
AverageSlope	3.203E-02	.005	.210	5.841	.000	.021	.043
ind.winter	.988	.387	.080	2.557	.011	.229	1.748
ind.summer	.943	.175	.202	5.381	.000	.599	1.288
ind.fall	1.293	.209	.238	6.195	.000	.883	1.704
act.Handpile	1.447	.422	.304	3.426	.001	.617	2.277
act.MachinePile	1.375	.477	.168	2.882	.004	.438	2.312
act.MachineLeave	-.125	.445	-.022	-.280	.780	-.998	.749
act.LadderFuelReduction	.774	.460	.131	1.682	.093	-.130	1.677
act.Thinning	-.694	.482	-.085	-1.439	.151	-1.642	.253
act.PCT	1.391	.611	.100	2.275	.023	.190	2.592
ind.FireRegime1	1.693	.209	.364	8.100	.000	1.282	2.103
ind.FireRegime3	1.925	.284	.289	6.769	.000	1.367	2.484
ind.FireRegime4	2.061	.286	.311	7.202	.000	1.499	2.623
ind.NaturalFuels	.967	.167	.209	5.772	.000	.638	1.296
NFPProject	-.607	.232	-.103	-2.620	.009	-1.062	-.152

a. Dependent Variable: LNCPA R Squared = 0.593 Adjusted R Squared = 0.578 n = 526

### Incendios prescritos

Los factores incluidos en la ecuación de regresión final (Ecuación 3) para el coste de los tratamientos mediante quemas son el indicador de WUI, el indicador de área de protección designada, lnAcres, pendiente media, elevación de punto medio, indicador de pendiente Cascade, tipo de actividad, objetivos de gestión, especificaciones de cosechas, tipos de materiales combustibles, y régimen de incendios.

$$\text{lnCPA} = 5,205 + 0,358\text{WUI} + 0,0300\text{DPA} - 0,178\text{lnAcres} + 3,282-3\text{Slope} - 1,55\text{Elevación} + 0,517\text{Cascade} - 0,258\text{Broadcast} - 1,503\text{MachinePile} - 1,59\text{HandPile} - 1.652\text{LandingPile} - 0,351\text{Defensible} + 0,205\text{WUI} - 0,300\text{EcoSys} - 0,3174x4 - 0,1206x6 + 0,2518x8 + 0,391\text{HarvOther} - 0,566\text{WholeTree} - 0,173\text{BrushGrass} + 0,306\text{DougFir} + 0,618\text{Lodge} + 0,427\text{Mixed} + 0,427\text{FRII} + 0,268\text{FRIII} + 0,355\text{FRIV} \quad (3)$$

Los factores de inflación de varianza no indicaron colinealidad (VIF < 10). Los coeficientes, tests t, y los intervalos de confianza del 95% de cada variable se presentan en la Tabla 2.

Las variables restantes se retuvieron debido a la fuerte significación estadística (sumas adicionales de cuadrados, test F,  $p < 0,04$ ). Los factores eliminados de la ecuación de las quemas incluyen a la estación, año, condado población, estado, indicador de combustibles naturales, método de cálculo de apilamientos, toneladas de apilamientos, indicador de apilamiento (s/n), indicador de proyecto de NFP, método de cálculo de carga, agencia, agente de trabajo, indicador de ignición múltiple, y método de ignición. La ecuación de regresión final tuvo una R cuadrada ajustada de 0,610, basada en 837 observaciones (Tabla 2).

**Tabla 2--**Coeficientes, tests t, e intervalos de confianza del 95% para variables independientes en el modelo de regresión para tratamientos de incendio de los 2001 & 2002.

**Fire Treatments 2001 & 2002<sup>a</sup>**

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
	B	Std. Error				Lower Bound	Upper Bound
	(Constant)	5.205	.196		26.589	.000	4.821
ind.WUI	.358	.070	.156	5.101	.000	.220	.496
DesignatedProtectionArea	.300	.065	.130	4.604	.000	.172	.427
LNACRES	-.178	.022	-.227	-7.944	.000	-.222	-.134
AverageSlope	3.282E-03	.002	.050	1.689	.092	-.001	.007
MidpointElevation	-1.55E-04	.000	-.147	-4.383	.000	.000	.000
ind.CascadeSlope	.517	.135	.150	3.816	.000	.251	.782
act.Broadcastburn	-.258	.200	-.036	-1.292	.197	-.651	.134
act.MachinePileBurn	-1.503	.108	-.395	-13.936	.000	-1.714	-1.291
act.HandPileBurn	-1.259	.066	-.546	-19.048	.000	-1.388	-1.129
act.BurnLandingPiles	-1.652	.132	-.358	-12.543	.000	-1.910	-1.393
obj.DefensibleSpace	-.351	.113	-.078	-3.110	.002	-.572	-.129
obj.ForestHealth	-.303	.086	-.103	-3.502	.000	-.472	-.133
obj.WUI	.205	.090	.068	2.265	.024	.027	.382
obj.EcosystemRestoration	-.300	.119	-.074	-2.527	.012	-.533	-.067
HarvSpecs.4X4	-.317	.113	-.078	-2.813	.005	-.538	-.096
HarvSpecs.6X6	-.120	.094	-.034	-1.275	.203	-.304	.065
HarvSpecs.8X8	.251	.167	.039	1.505	.133	-.076	.579
HarvSpecs.other	.391	.092	.114	4.233	.000	.209	.572
HarvSpecs.WholeTreeYard	-.566	.112	-.136	-5.054	.000	-.786	-.346
fuel.BrushGrass	-.173	.174	-.026	-.994	.321	-.516	.169
fuel.DougFirHemlockCedar	.306	.139	.073	2.209	.027	.034	.579
fuel.Lodgepole	.618	.110	.178	5.613	.000	.402	.834
fuel.MixedConifer	.427	.077	.186	5.561	.000	.276	.578
ind.FireRegime2	.467	.109	.102	4.295	.000	.254	.680
ind.FireRegime3	.268	.098	.095	2.727	.007	.075	.461
ind.FireRegime4	.335	.117	.097	2.863	.004	.105	.564

a. Dependent Variable: LNCPA R Squared = 0.622 Adjusted R Squared = 0.610 n = 837

El indicador de WUI presentaba de nuevo una fuerte significación (test t,  $p < 0,001$ ) con un coeficiente estimado después de la transformación de 1,430 (intervalo de confianza del 95% {1,246 a 1,642}), que indica que el coste por acre de los tratamientos mediante incendios de WUI son aproximadamente un 43% más altos que el coste por acre del tratamientos mediante incendios de áreas no WUI. Además, hubo una fuerte evidencia (test t,  $p < 0,001$ ) para incluir la variable del indicador de área de protección en el modelo de regresión para tratamientos mediante incendios.

Tras la transformación antilogarítmica, el coeficiente estimado para el DPA fue de 1,349 (intervalo de confianza del 95% {1,188 a 1,533}), que indica que el coste por acre de las actividades de quema en áreas de protección designada son aproximadamente un 35% por ciento más altos que los de las áreas no protegidas.

Hubo una fuerte evidencia (sumas adicionales de cuadrados, test F,  $p = 0,039$ ) para incluir  $\ln$ Acre en el modelo de regresión, y una vez más, el signo del coeficiente indicó economías de escala. La elevación de punto medio y la pendiente media presentaron un pequeño pero significativo efecto (test t,  $p < 0,10$ ) sobre el coste. Los efectos estimados fueron que unas pendientes más pronunciadas se asociaron con ligeros incrementos en coste, y unas elevaciones mayores se asociaron con ligeras disminuciones en el coste. El efecto estimado del indicador de pendiente Cascade sugirió que el coste por acre de los tratamientos mediante incendios son más altos en la ladera occidental de la cordillera Cascade.

Las variables de categoría multinivel (y los niveles de referencia) en la regresión de las quemas incluyeron el tipo de actividad (quema a ras de suelo), objetivo primario del proyecto (reducción de combustibles), especificaciones de cosecha (no aplicable), especies combustibles (pino ponderosa), y régimen de incendios (régimen de incendios I). Las actividades de quema en todos los regímenes de incendio se asociaron con costes por acre más elevados cuando se compararon con el régimen de incendios I. En lo que se refiere a los objetivos primarios de proyecto, se estimó que las actividades con los objetivos de espacios defendibles, salud del bosque, y restauración de ecosistemas presentaban unos costes significativamente menores que aquellas con el objetivo de reducción de materia combustible (test t,  $p < 0,02$ ). Como contraste, las actividades con el objetivo 'WUI' se asociaban con costes significativamente más altos que con aquellas con objetivos de reducción de combustible (test t,  $p = 0,024$ ). Todos los tipos de actividad de quemas tenían unos costes estimados inferiores a los de quema controlada. No obstante, sólo hubo una evidencia muy débil (t-test  $p = 0,197$ ) que soportara una diferencia de coste entre quema controlada y quema a ras de suelo. Todas las especies combustibles estaban asociadas con costes significativamente superiores a los del pino ponderosa (test t,  $p < 0,03$ ), con la excepción de arbustos / hierbas, para las que no hubo evidencia de una diferencia (t-test  $p = 0,321$ ).

## Discusión

A pesar de la gran cantidad de información disponible en FASTRACS y extensos registros, los valores de R-cuadrado fueron algo inferiores que se han observado en estudios anteriores (Rideout y Omi 1995, Jackson y otros 1982). Los valores inferiores observados de valores R-cuadrado pueden deberse a la falta de información sobre los factores clave. Por ejemplo, Rideout y Omi (1995) utilizaron la información sobre escapes como una variable, y clasificando las puntuaciones en valores que incluían la complejidad de ignición, los recursos naturales, la importancia histórica, y el hábitat para la vida salvaje. Además, estudios anteriores se han centrado más específicamente únicamente en uno o dos objetivos de gestión, dando lugar a una menor variabilidad en los costes.

Es notable que la WUI fue un factor significativo tanto en los tratamientos mecánicos como mediante incendios. El análisis de los datos de la FASTRACS

indican claramente que el coste es superior en las actividades de WUI. Para los tratamientos mecánicos, el coste de la actividad de WUI se estimó en más de tres veces superior al de la actividad no-WUI. Para los tratamientos mediante quemas, los costes de actividad por acre de WUI se estimaron ser un 43% superiores a los de las actividades no-WUI. La discrepancia en el tamaño del efecto de la WUI sobre los costes entre tratamientos mecánicos y con incendios es en cierta medida inesperada. Es posible que cuando los tratamientos de combustible de WUI se asocian a riesgos particularmente altos (y con un costes elevado), es más probable que se traten mediante actividades mecánicas que mediante actividades con quemas. Además, los directores observaron que los costes de quema pueden ser prohibitivamente altos en la WUI, por lo que es posible que los datos estén desviados para incluir un mayor número relativo de tratamientos mediante quema de WUI de bajo coste. El DPA también constituyó un factor significativo los análisis mecánicos y de quemas, lo que indicaba que la proximidad a los centros de población o las áreas concernidas en la gestión de humos puede asociarse con elevados costes de tratamiento de materiales combustibles. Estos resultados cuantifican el papel de la interfase urbana - forestal en el coste de la gestión de combustibles y sugiere que puede merecer la pena considerar las WUI y DPA a la hora de estimar los costes de la actividad.

El tipo de actividad y el tamaño de la unidad se consideran generalmente ser dos importantes factores que afectan al coste de tratamiento (Cleaves y Brodie 1990, Cleaves y otros 1999). Se observó que los tipos de actividad eran significativos tanto para los tratamientos mecánicos como para los tratamientos mediante quema. Puesto que éste es un factor principal considerado en la elaboración de los presupuestos, no es sorprendente que distintas actividades se asociaran con distintos costes distintos. La variable  $\ln$ Acres incluida en las ecuaciones de regresión y en los resultados apoyan los resultados de trabajos anteriores (Rideout y Omi 1995, Jackson y otros 1982) en cuanto a que los costes por acre generalmente disminuyen según aumenta el número de acres. Para los datos de las quemas, esta observación era fuertemente significativa, no siendo este el caso de los datos mecánicos. Puesto que el número de acres tratados no afecta grandemente a los costes por acre de los tratamientos mecánicos, este análisis indica que otros factores son más importantes para estimar los costes. Con respecto al número de acres tratados, es más probable que los tratamientos mecánicos tengan unos costes fijos más altos y unos costes variables más bajos que los tratamientos con quemas. Por tanto, los costes por acre de los tratamientos mecánicos serán menos sensibles a la escala total del tratamiento.

Los objetivos primarios de proyecto fueron significativos en el análisis de los datos de los incendios, apoyando los resultados de investigaciones anteriores (Cleaves y Brodie 1990). Además, las actividades de quema con objetivos de WUI estaban asociadas con costes más elevados que aquellas con objetivos de reducción de combustibles. Todos los demás objetivos primarios de proyecto estuvieron asociados con menores costes que los de las actividades con objetivos de reducción de combustible. Este resultado refuerza el argumento de que los costes asociados a los tratamientos con quemas de WUI son más altos que los asociados con tratamientos no-WUI. No se encontró que los objetivos primarios de proyecto fueran significativos en los análisis de los datos mecánicos. Es posible la significación de este factor estuviera enmascarado por otros factores significativos en el análisis mecánico.

## Conclusión

Los resultados de este análisis indican claramente que los costes por acre de los tratamientos de materia combustible son más altos áreas de interfase urbana - forestal para los métodos mecánicos de reducción de material combustible y para los métodos de quema controlada. Además, se observó que los costes por acre eran más altos en las áreas concernidas por la gestión de humos o cerca de los centros de población. Hoy día, las WUI y DPA no se incluyen específicamente en los presupuestos para actividades de gestión de materiales combustibles en el Nordeste Pacífico. Sin embargo, este análisis indica que considerar las WUI y DPA podría producir estimaciones de costes más precisas. El DPA es, por supuesto, sólo un factor en - Oregon, donde el plan de gestión de humos delinea estas áreas. Sería posible, no obstante, desarrollar clasificaciones similares en otros estados tomando como base los problemas de la gestión de humos y las densidades de población.

La base de datos FASTRACS tiene un gran potencial para estudios futuros. Puede convertirse en una parte más central del sistema de ordenación de la región del Nordeste Pacífico. Cuantos más directores utilicen FASTRACS, se convertirá en una plataforma de registro de actividades de ordenación de toda la región. Además, tal vez pueda servir de modelo para un sistema de gestión de datos a nivel nacional. De las conversaciones con los directores se desprende que la Región 1, en particular, carece por completo de cualquier tipo de programa de seguimiento de proyectos de gestión de materias combustibles y de costes. Sin embargo, para un análisis económico preciso de la base de datos FASTRACS, será necesario definir con más precisión los costes de actividad de los que está compuesto, así como definir los costes reales frente a los planificados. Esto asegurará que los costes puedan compararse entre distritos, bosques, y regiones. Además, para futuros estudios de asuntos relacionados con la interfase urbana - forestal, será necesario desarrollar una definición de trabajo de este término.

Para la realización de análisis estadísticos, son necesarios registros más completos en la base de datos FASTRACS. Por ejemplo, muchas observaciones en este estudio eran incompletas en los campos potencialmente importantes de la meteorología, humedad del material combustible, clase de condición, especies amenazadas y en peligro, aspecto predominante, y posición en la pendiente. Además, puede ser posible registrar información sobre factores como forma de la unidad, acceso, distancia viajada al lugar de trabajo, composición del personal, horas de trabajo, días de limpieza, y aparición de escapes en futuras ediciones de FASTRACS. Esto permitiría un análisis más exhaustivo, y la capacidad de predecir porción mayor de la variabilidad de costes. En este punto, aun siendo FASTRACS la mejor fuente de información a nivel de regiones sobre proyectos de gestión de combustibles, sigue habiendo mucho espacio para la mejora.

## Agradecimientos

Quisiéramos agradecer a los gestores de materiales combustibles de las Regiones 1, 4, y 6, por emplear tiempo en suministrar datos, y responder a muchas preguntas. En particular, queremos expresar nuestra gratitud a Mary Ann Sanford, Tim Rich, y John Orbeton. McIntire Stennis colaboró financieramente con esta investigación

## Literatura citada

- Arno, Stephen F., y James K. Brown. (1991). Overcoming the paradox in managing wildland fire. *Western Wildlands*. 17(1):40-46.
- Bakken, Stephen. (1995). Conflicts between natural resources and structural protection. En *The Biswell Symposium: Fire Issues in Urban Interface y Wildland Ecosystems*. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-158.
- Cleaves, David A. y Douglas Brodie. (1990). Economic analysis of prescribed burning. pp. 271-282. En *Natural and Prescribed Fire in Pacific Northwest Forests*, J.D. Walstad, y
- Cleaves, David A., Terry K. Haines, y Jorge Martinez. (1999). Prescribed burning costs: trends y influences in the National Forest System. P.277 En *Proceedings of the Symposium on Fire Economics, Planning and Policy: Bottom Lines*. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-173.
- Davis, James B. (1990). The wildland-urban interface: paradise or battleground? *Journal of Forestry*. 88(1):26-31.
- Davis, Kathleen M., B.D. Clayton, y W.C. Fischer. (1980). Fire ecology of Lolo National Forest habitat types. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. INT-122. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, UT. 22pp.
- González-Cabán, Armando, y Charles W. McKetta. (1986). Analyzing fuel treatment costs. *Western Journal of Applied Forestry*. 1:116-121.
- Heinselmann, M. L. (1973). Fire in the virgin forests of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota. *Quat. Res.* 3:329-82.
- Jackson, David H., Patrick Flowers, Robert S. Loveless, Jr., y Ervin G. Schuster. date Predicting prescribed burning costs of wildlife habitat management. *Fire Management Notes*. 43(4):20-22.
- Rich, Tim. (1984). Sources of costs associated with prescribed burning on the Powell Ranger District. Thesis, 56pp. University de Idaho, Moscow, ID.
- Rideout, Douglas B. y Philip N. Omi. (1995). Estimating the cost of fuels treatment. *Forest Science*. 41(4): 664-674.
- Snyder, Glenn W. (1999). Strategic holistic integrated planning for the future: fire protection in the urban/rural/wildland interface (URWIN). En *Proceedings of the Symposium on Fire Economics, Planning, y Policy: Bottom Lines*. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-173.
- USDI/USDA. (1995). Federal wildfire management policy and program review report. U.S. Department of the Interior, U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C. 41p.

## Apéndice A) Tratamientos mecánicos: variables y estadística descriptiva

Variables	Niveles (# de Observaciones)	n	Mín.	Máx.	Media	Desviación típica
Coste Por Acre (CPA)		840	0,01	2,077.80	176.81	241.37
InCPA		840	-5.12	7.64	4.23	2.10
Acres tratados		771	1	2,322	89.86	176.74
En Acres		771	0	7.75	3.66	1.27
Coste Año		840	2001	2001	2001	0
IND.2001		840	1	1	1	0
Estación	Invierno (24)	768	0	1	0,03	0,17
	Primavera (193)	768	0	1	0,25	0,43
	Verano (334)	768	0	1	0,43	0,50
	Otoño (217)	768	0	1	0,28	0,45
WUI	(439)	840	0	1	0,52	0,50
DPA	(326)	785	0	1	0,42	0,49
Pendiente media (%)		751	0	60	17.10	14.66
Elevación del punto medio (pies)		743	500	6,450	4442.59	1148.35
Tipo de actividad	Apilamiento manual (274)	840	0	1	0,33	0,47
	Recogida manual hojas (37)	840	0	1	0,04	0,21
	Apilamiento mecánico (169)	840	0	1	0,20	0,40
	Recogida automática hojas (142)	840	0	1	0,17	0,38
	Reducción escalonada combustible (139)	840	0	1	0,17	0,37
	Aclarado (61)	840	0	1	0,07	0,26
	PCT (18)	840	0	1	0,02	0,14
Régimen de incendios	Régimen de incendios 1 (350)	652	0	1	0,54	0,50
	Régimen de incendios 2 (109)	652	0	1	0,17	0,37
	Régimen de incendios 3 (95)	652	0	1	0,15	0,35
	Régimen de incendios 4 (98)	652	0	1	0,15	0,36
Combustibles naturales	(424)	840	0	1	0,50	0,50
Población del condado		827	2,397	322,959	69,522.15	72,026.73
Pendiente de Cascade	(West = 78)	827	0	1	0,09	0,29
Estado	(WA = 40)	827	0	1	0,05	0,21
Objetivo primario de proyecto	Salud del bosque (157)	840	0	1	0,19	0,39
	WUI (132)	840	0	1	0,16	0,36
	Restauración de ecosistemas (76)	840	0	1	0,09	0,29
	Reducción de combustible (475)	840	0	1	0,57	0,50
Proyecto de NFP	(636)	840	0	1	0,76	0,43
BLM	(144)	840	0	1	0,17	0,38
Agente de trabajo	Comprador de madera (10)	839	0	1	0,01	0,11
	Contratista (552)	839	0	1	0,66	0,47
	Trabajadores temporales (227)	839	0	1	0,33	0,47
N válido (por lista)		515				

## Apéndice B) Tratamientos mediante incendio: variables y estadística descriptiva

Variables	Niveles (# de Observaciones)	n	Mín.	Máx.	Media	Desviación típica
Coste por acre (CPA)		1946	0,65	1.426.00	85,24	107,78
lnCPA		1946	-0,43	7.26	3,84	1,21
Acres tratados		1316	0	15,222	101.85	563.91
ln(Acres tratados + 1)		1316	0	9.63	3.07	1.55
Coste año		1946	2001	2002	2001,49	0,50
Año	2001 (999)	1946	0	1	0,51	0,50
	2002 (947)	1946	0	1	0,49	0,50
Estación	Invierno (217)	1423	0	1	0,15	0,36
	Primavera (289)	1423	0	1	0,20	0,40
	Verano (30)	1423	0	1	0,02	0,14
	Otoño (887)	1423	0	1	0,62	0,48
WUI	(826)	1946	0	1	0,42	0,49
DPA	(784)	1879	0	1	0,42	0,49
Pendiente media (%)		1769	0	87	19.95	16.89
Elevación del punto medio (pies)		1778	500	6,500	4057.96	1141.87
Tipo de actividad	Quema controlada (49)	1946	0	1	0,03	0,16
	Quema automatizada apilamientos (211)	1946	0	1	0,11	0,31
	Quema manual apilamientos (811)	1946	0	1	0,42	0,49
	Quema apilamientos de descarga (227)	1946	0	1	0,12	0,32
	Incendio a ras de suelo (648)	1946	0	1	0,33	0,47
	Incendio a ras de suelo (648)	1946	0	1	0,33	0,47
Régimen de incendios	Régimen de incendios 1 (884)	1529	0	1	0,58	0,49
	Régimen de incendios 2 (152)	1529	0	1	0,10	0,30
	Régimen de incendios 3 (317)	1529	0	1	0,21	0,41
	Régimen de incendios 4 (176)	1529	0	1	0,12	0,32
Combustibles naturales	(1014)	1946	0	1	0,52	0,50
Población del condado		1927	1,547	322,959	85,050,01	78,959.44
Pendiente de Cascade	(West = 225)	1927	0	1	0,13	0,34
Estado	(WA = 247)	1927	0	1	0,13	0,33
Objetivo primario de proyecto	Espacio defendible (82)	1848	0	1	0,04	0,21
	Salud forestal(255)	1848	0	1	0,14	0,34
	WUI ( 284)	1848	0	1	0,15	0,36
	Restauración de ecosistemas (152)	1848	0	1	0,08	0,27
	Reducción de combustible (1075)	1848	0	1	0,58	0,49
	Reducción de combustible (1075)	1848	0	1	0,58	0,49
Proyecto de NFP	(1288)	1946	0	1	0,66	0,47
BLM	(261)	1946	0	1	0,13	0,34
Agente de trabajo	Comprador de madera ( 57)	1930	0	1	0,03	0,17
	Contratista (244)	1930	0	1	0,13	0,33
	Trabajadores temporales (1629)	1930	0	1	0,84	0,36
Especies de	Arbustos / hierba (40)	1404	0	1	0,03	0,17

combustible	Abeto de Douglas, <i>Tsuga</i> , Cedro (149)	1404	0	1	0,11	0,31
	<i>Pinus contorta</i> (253)	1404	0	1	0,18	0,38
	Pino ponderosa (328)	1404	0	1	0,23	0,42
	Coníferas mixtas (634)	1404	0	1	0,45	0,50

**Apéndice B, continuación**

Variables	Niveles (# de Observaciones)	n	Mín.	Máx.	Media	Desviación típica
Especificaciones de recogida	4"x4' (114)	1787	0	1	0,06	0,24
	6"x6' (134)	1787	0	1	0,07	0,26
	8"x8' (39)	1787	0	1	0,02	0,15
	Otros (167)	1787	0	1	0,09	0,29
	Cercado completo de árboles (96)	1787	0	1	0,05	0,23
	N/A (1237)	1787	0	1	0,69	0,46
Métodos de cálculo de carga	NA/apilada (307)	1711	0	1	0,18	0,38
	Otros (445)	1711	0	1	0,26	0,44
	Transecto (9)	1711	0	1	0,01	0,07
	Local (714)	1711	0	1	0,42	0,49
	Serie fotográfica (236)	1711	0	1	0,14	0,34
Métodos de cálculo de apilamiento	Sin apilamiento ( 681)	1609	0	1	0,42	0,49
	Estudio aéreo (5)	1609	0	1	0,00	0,06
	Método local (294)	1609	0	1	0,18	0,39
	Pile Wizard (288)	1609	0	1	0,18	0,38
	Ocular ( 344)	1609	0	1	0,21	0,41
Toneladas de apilamiento		1442	0	3,876.60	76,79	238,43
Apilamiento s/n	(Sí = 1249)	1946	0	1	0,64	0,48
Métodos de ignición	Aérea (32)	974	0	1	0,03	0,18
	Combinación (36)	974	0	1	0,04	0,19
	Manual (906)	974	0	1	0,93	0,25
Igniciones múltiples	(124)	1155	0	1	0,11	0,31
N válido (por lista)		585				