Herencia forestal, cambio climático, alteración de los regímenes de perturbación, especies invasivas y recursos hídricos

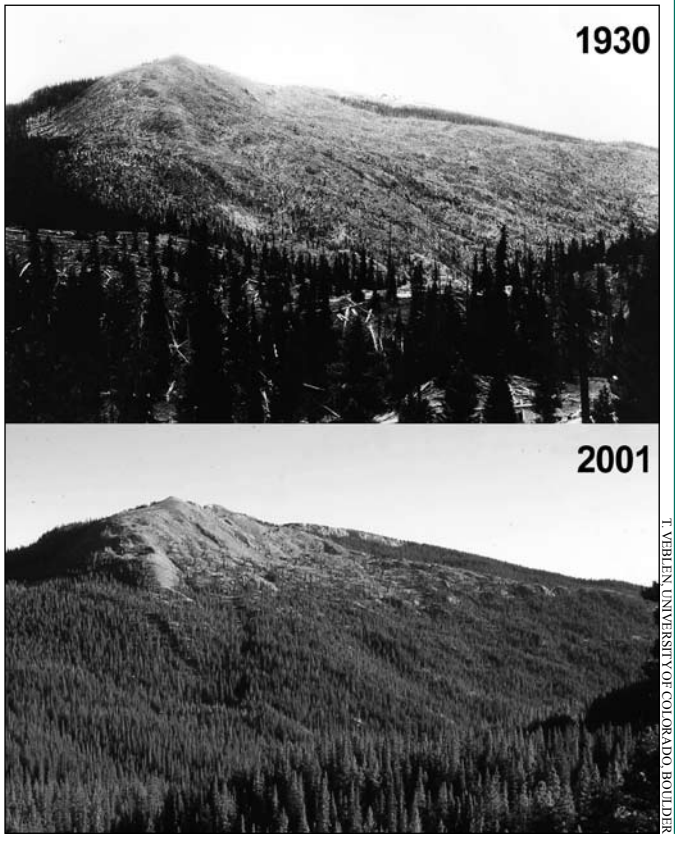
T. Stohlgren, C. Jarnevich y S. Kumar

El cambio climático es uno de los múltiples agentes impulsores que afectan a la hidrología forestal.

El clima es un importante agente impulsor de la distribución de las especies forestales y del ritmo de crecimiento y estructura de los bosques; y el cambio climático puede por lo tanto tener efectos potenciales significativos en la hidrología de los bosques de montaña y especialmente en el caudal hídrico disponible aguas abajo. Sin embargo, otros muchos factores influyen en la biomasa forestal y en la hidrología de las montañas, y los efectos del cambio climático no pueden desligarse del historial de aprovechamiento previo de la tierra (herencia forestal), de la alternación de los regímenes de perturbación (frecuencia de incendios, brotes de insectos, inundaciones) y de las especies invasivas. El presente artículo, que se basa en investigaciones realizadas en Colorado (Estados Unidos de América), examina los múltiples factores que es preciso considerar al tratar de predecir los cambios en la disponibilidad de los recursos hídricos.

LA HERENCIA FORESTAL

Escasos han sido los paisajes de los Estados Unidos de América que en la actualidad no hayan sufrido los efectos de la influencia humana, por ejemplo de resultas de la explotación maderera, la minería, la agricultura, el pastoreo de ganado doméstico, la eliminación de los grandes carnívoros, los incendios de bosques causados por el hombre y/o la contaminación. Muchos paisajes siguen padeciendo las alternaciones que derivan de los usos humanos,



1
Registro fotográfico de reiteración de una cuenca hidrográfica subalpina en Colorado (Estados Unidos de América)

Thomas Stohlgren es Jefe de subdivisión y **Catherine Jarnevich** es Ecóloga del Centro de Ciencias Fort Collins del United States Geological Survey, Fort Collins, Colorado (Estados Unidos de América).
Sunil Kumar es Investigador del Laboratorio de Ecología de los Recursos Naturales de la Universidad del Estado de Colorado, Fort Collins, Colorado (Estados Unidos de América).

mientras que otros están volviendo a su estado natural (Figura 1). Es posible que la calidad y cantidad de los recursos hídricos disponibles aguas abajo se vean afectados por los cambios en la composición, estructura, dosel y biomasa del bosque, en la medida en que este último responde a los usos humanos anteriores y a otras perturbaciones tales como los incendios forestales. Por ejemplo, la minería y el aumento del número de incendios causados por el hombre entre 1850 y 1900 afectaron a muchas cuencas hidrográficas de las Montañas Rocosas (Veblen y Lorenz, 1991). Es probable que los flujos fluviales hayan aumentado tras estas perturbaciones y se hayan mantenido elevados durante el período en que los bosques se recuperaban. Se podría lógicamente suponer que los flujos fluviales actuales han disminuido debido a la mayor intercepción de nieves por los doseles en maduración y el mayor consumo de agua por los bosques. La herencia forestal y paisajística constituye el telón de fondo para medir el cambio climático que ha tenido lugar en las postrimerías del siglo XX.

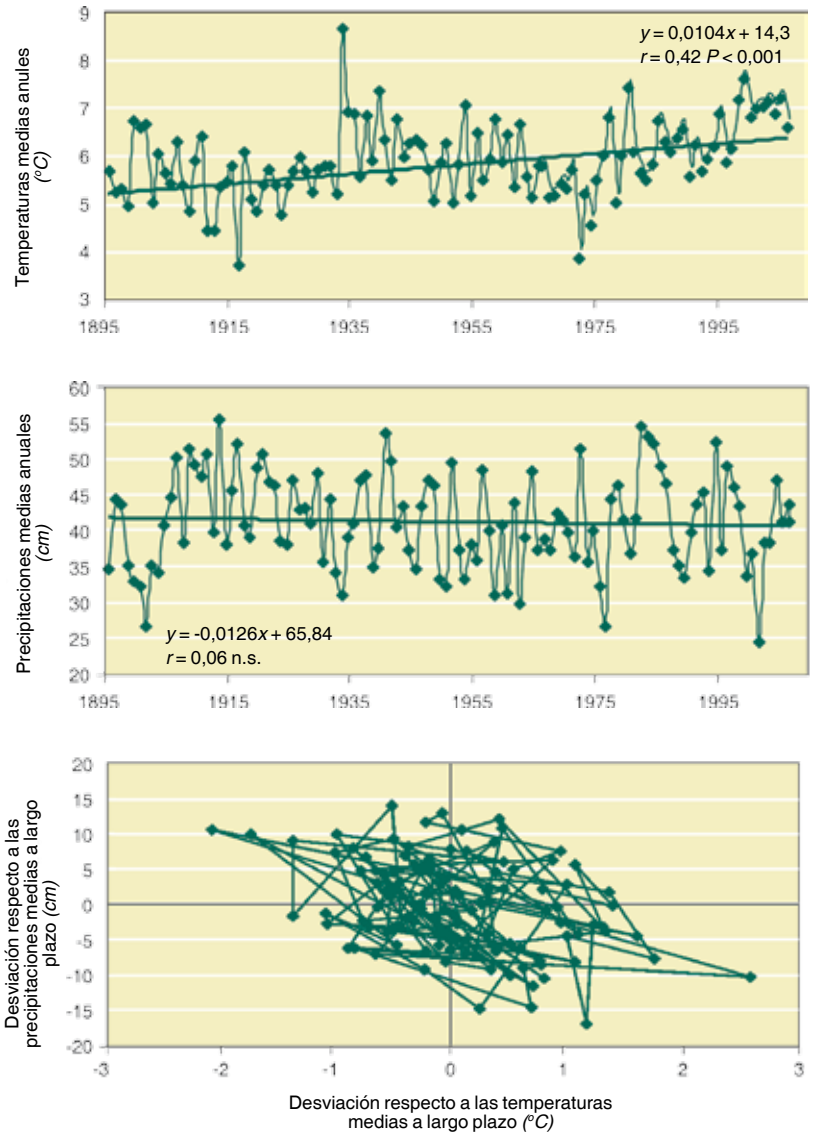
CAMBIO CLIMÁTICO Y FLUJO FLUVIAL

El cambo climático no es un fenómeno nuevo en las cuencas hidrográficas de montaña (Pielou, 1991). Por ejemplo, en la cuenca superior del río Colorado en los Estados Unidos la temperatura media anual ha aumentado significativamente desde el fin de la Pequeña Era Glacial (alrededor de 1850). Según se observa en la Figura 2 (arriba), la temperatura promedio ha aumentado en 1 °C desde que en 1895 comenzaran a efectuarse mediciones sistemáticas. En años recientes, el recalentamiento ha sido aún mayor; el ritmo de cambio, acelerado por las actividades humanas, se ha hecho extremadamente rápido en algunas zonas. En las estaciones meteorológicas situadas en las cuencas hidrográficas del tercio occidental del estado de Colorado, se ha observado que las precipitaciones han disminuido ligera pero no significativamente durante el mismo período, reduciéndose en menos del 3 por ciento en promedio (Figura 2, centro). Las variaciones anuales de temperatura y precipitaciones han sido significativas (Figura 2, abajo), fluctuando esporádicamente entre años cálidos secos y años fríos húmedos, o entre años cálidos húmedos y años fríos secos, con muchos años en cada cuadrante. (El promedio de largo plazo se encuentra en el centro del diagrama.) Las especies vegetales y animales de los bosques de la cuenca hidrográfica han experimentado fluctuaciones de temperatura media de casi 5 °C y un rango de precipitaciones anuales del 30 por ciento desde el inicio de los registros climatológicos.

Muchas especies longevas de plantas y animales de los bosques han seguido existiendo a pesar de estas fluctuaciones climatológicas anuales; es más, las fluctuaciones pueden haber acrecentado su adaptabilidad a las modificaciones climatológicas a largo plazo. No obstante, las fluctuaciones anuales podrían tener efectos más atenuados en la estructura de los bosques que algunos acontecimientos extremos como varios años de sequía o repetidos años de inviernos en promedio más cálidos que exacerban los principales brotes de insectos de los bosques. Por consiguiente, los fenómenos climatológicos raros pueden tener efectos duraderos en la estructura y biomasa forestal y en los flujos posteriores aguas abajo.

Los flujos fluviales afectan a los tiempos y entrega del agua aguas abajo para usos agrícolas y domésticos. Un análisis de tres cuencas hidrográficas elevadas en Colorado no mostró tendencias significativas en los flujos fluviales pero sí una alta variabilidad

2
Temperaturas a largo plazo (arriba), precipitaciones (centro) y fluctuaciones anuales (abajo) registradas en la cuenca del río Colorado



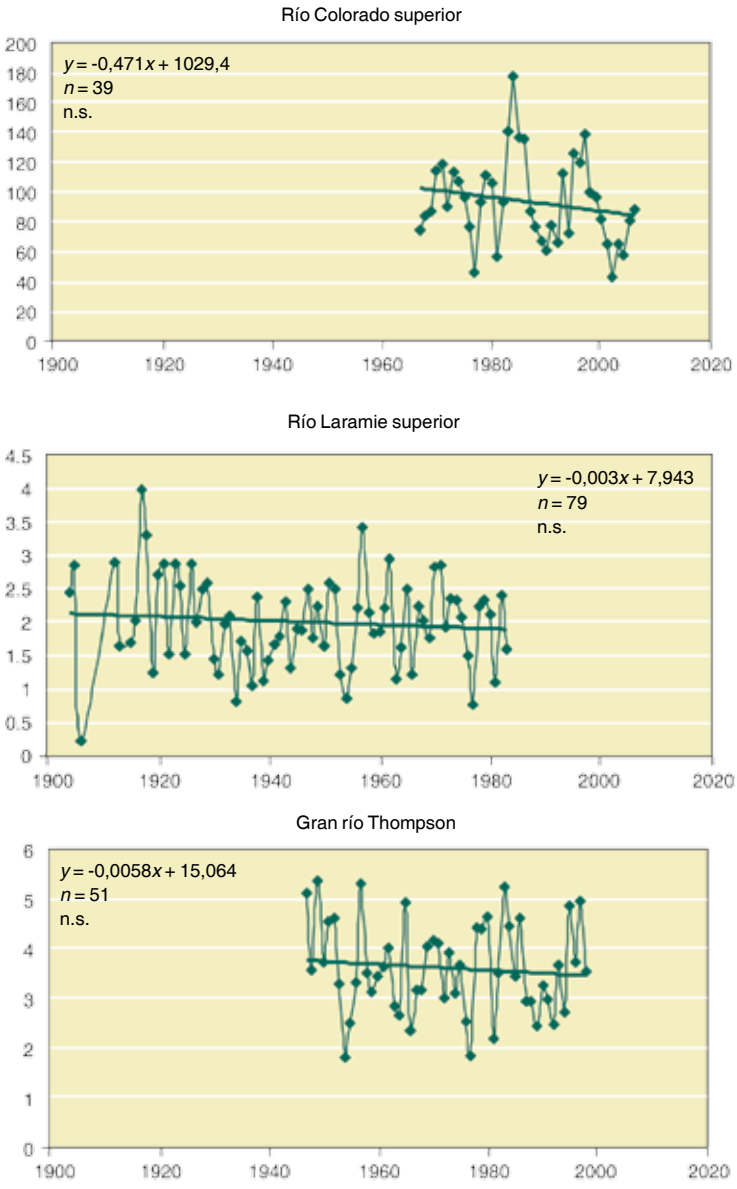
Fuente: Western Regional Climate Center, wrcc@dri.edu

anual (Figura 3). Otros investigadores han presentado las tendencias del agua del deshielo temprano y los flujos fluviales máximos de diversas cuencas del oeste de los Estados Unidos bajo las condiciones climáticas presentes y proyectadas (Leung *et al.*, 2003; Stewart, Cayan y Dettinger, 2004, 2005). Las escorrentías de tormenta y la lluvia, sumadas a las nevascas, pueden ser fenómenos más comunes en un clima en recalentamiento. Sin embargo, más perjudiciales aún podrían ser varios años de sequía. Es probable que muchos sistemas de suministro de agua, que se formaron a favor de unas condiciones históricamente más húmedas, puedan resultar inadecuados en tiempos de sequías excepcionales. Las megasequías, como la sequía que se registró en el río Colorado inferior a mediados de los años 1100 y que se estima duró 60 o más años (Meko *et al.*, 2007), deberían atraer la tención de los planificadores hidrológicos actuales.

Los flujos fluviales dependen mucho de la cantidad, tiempos y forma de las precipitaciones. Por lo general, la nieve permanece en la cuenca por más tiempo que la lluvia. El almacenamiento, pérdida y recarga de aguas subterráneas también ejercen influencia en los flujos fluviales. Otros factores importantes son la periodicidad y la secuenciación de años húmedos y secos en relación con la recarga de aguas subterráneas y los sistemas de suministro de agua (por ejemplo, los sistemas de riego, canales y diques), que amortiguan los efectos de las sequías.

Existen pocas dudas acerca del hecho de que los futuros cambios climáticos afectarán a los suministros hídricos: las fluctuaciones del clima siempre lo han hecho. Sin embargo, esta influencia está interrelacionada con la herencia forestal y paisajística, la alteración de los regímenes de perturbación y las plantas, insectos y patógenos invasivos.

3
Datos del flujo fluvial anual de tres cuencas superiores en Colorado (descarga, m^3 por segundo)



Fuente: USGS, 2007.

ALTERACIÓN DE LOS REGÍMENES DE PERTURBACIÓN

El hombre ha causado cambios en muchos sistemas naturales al alterar los regímenes de perturbación tradicionales tales como la frecuencia, intensidad y patrones de los incendios de bosques y brotes de insectos. Análogamente, el control de las inundaciones mediante diques, embalses y canales tiene efectos evidentes en los patrones de flujo de muchas cuencas hidrográficas. La supresión de los incendios ha reducido considerablemente el número de incendios que se declaran cada año en los Estados Unidos (Figura 4, arriba); en cambio, la superficie abarcada por cada incendio parece haber aumentando (Figura 4, abajo). La explotación maderera en gran escala y los incendios de grandes proporciones durante la primera mitad del siglo XX alteraron muchas cuencas receptoras arboladas de las Montañas Rocosas de Colorado, tal como puede apreciarse en centenares de registros fotográficos de reiteración de los lugares interesados (Veblen y Lorenz, 1991). El rebrote ulterior de las masas coetáneas densas contribuyó indudablemente a la homogeneidad de los bosques y a la cantidad de materias actualmente disponible en algunas zonas para la combustión de incendios forestales.

Los brotes de insectos y patógenos autóctonos son fenómenos periódicos que pueden tener efectos locales devastadores en la estructura y biomasa de los bosques, y que a su vez afectan a los suministros hídricos. En años recientes, los grandes brotes de escarabajo del pino de montaña han afectado a superficies de varios millones de hectáreas en los Estados Unidos. El comportamiento de los bosques defoliados puede ser similar al de los bosques que se han quemado, pero los efectos de la defoliación pueden no ser tan extensos

o continuos en muchas zonas. Si bien la coevolución de las especies forestales nativas con los insectos y patógenos autóctonos proporciona al ecosistema un cierto grado de resiliencia, los bosques nativos son en la actualidad blanco de un bombardeo con plagas invasivas no autóctonas contra las cuales las defensas naturales son escasas.

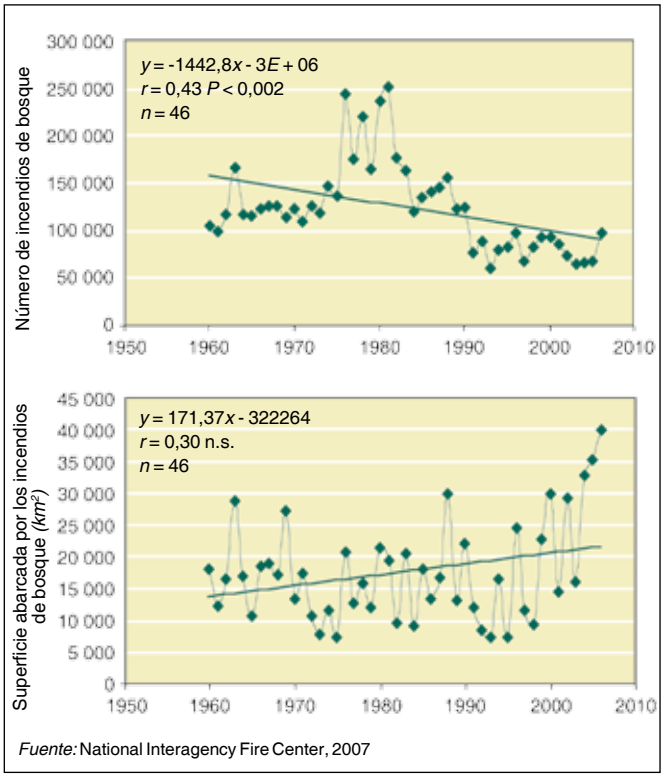
ESPECIES INVASIVAS

Las especies de plagas y patógenos forestales invasivos no autóctonos aumentan considerablemente el estrés al que se ven sometidas las cuencas de captación y son capaces de aniquilar grandes extensiones de bosque intacto. Entre los ejemplos de enfermedades más notables en los Estados Unidos –algunas de reciente introducción– están las enfermedades fúngicas y otras enfermedades afines responsables de la muerte súbita de los robles (causada por *Phytophthora ramorum*) (Figura 5), el chancro del castaño (causado por *Cryphonectria parasitica*), la enfermedad holandesa del olmo (causada por *Ophiostoma* spp. y difundida por el barrenillo del olmo, *Scolytus multistriatus*) y la roya vesicular del pino blanco (causada por *Cronartium ribicola*); y las plagas de insectos tales como la lagarta peluda de los encinares (*Lymantria dispar*) y el barrenador esmeralda del fresno (*Agrilus planipennis*). La roya vesicular del pino blanco, por ejemplo, ha causado una mortandad del 90 por ciento en algunas formaciones forestales subalpinas del Parque Nacional de los Glaciares de Montana. Las defensas naturales de las especies forestales nativas pueden ser limitadas debido a que dichas especies no han coevolucionado con las plagas.

La estructura forestal puede verse afectada indirectamente por otras especies invasivas no autóctonas perjudiciales. Las lombrices de tierra invasivas en los Estados Unidos están modificando la estructura del suelo y el ciclo de nutrientes. Las gramíneas y arbustos no autóctonos, a menudo diseminados por pájaros que esparcen las semillas, pueden alterar la carga de combustible presente en los bosques y por consiguiente el régimen natural de los incendios.

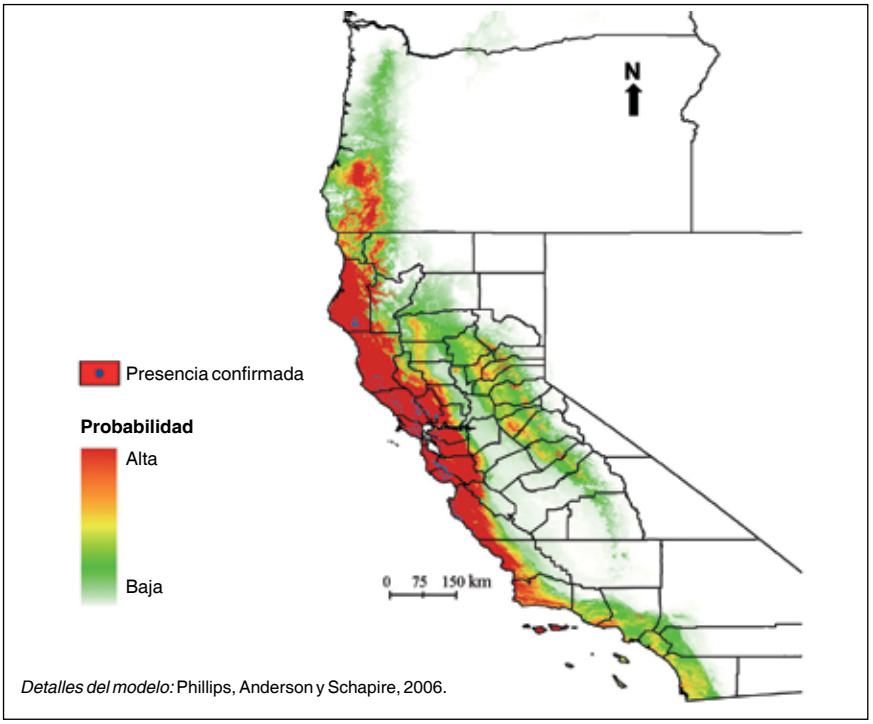
Algunas especies invasivas afectan directa o indirectamente a la calidad y cantidad de las corrientes de aguas. Por ejemplo, la falopia japonesa (*Fallopia japonica*), que posee más raíces superficiales que las especies nativas ribereñas, puede afectar a la calidad del agua al incrementar la carga de los sedimentos suspendidos y la turbidez (Talmage y Kiviat, 2002). *Didymosphenia geminata*, una diatomea de agua dulce, está modificando las condiciones físicas y biológicas de los cauces, y puede afectar indirectamente a la calidad del agua de los cauces debido a que forma masas o flora-

4
Estadísticas de los incendios de bosque en los Estados Unidos de América, 1960-2006



Fuente: National Interagency Fire Center, 2007

5
Mapa de los hábitats idóneos potenciales para la distribución de* Phytophthora ramorum*, patógeno causante de la muerte súbita de los robles en el oeste de los Estados Unidos de América, según la técnica de los modelos de distribución entrópica máxima



Detalles del modelo: Phillips, Anderson y Schapire, 2006.

UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA, DAVIS, CORTESÍA FUNDACIÓN NACIONAL DE CIENCIAS

Bosque típico afectado por la muerte súbita de los robles, California (Estados Unidos de América)

ciones que degradan los hábitats piscícolas, asfixia a las plantas sumergidas y a los invertebrados y reduce el flujo del agua, al tiempo que agota el oxígeno disuelto (Spaulding y Elwell, 2007).

Los efectos acumulados de las plantas, insectos y patógenos invasivos no autóctonos pueden afectar a la estructura y biomasa de los bosques y a la disponibilidad de los recursos hídricos aguas abajo. Este problema se exacerba a consecuencia del aumento de los intercambios comerciales, los transportes y el transporte a grandes distancias. Los inspectores de plagas interceptan nuevas plagas de los bosques todos los años.

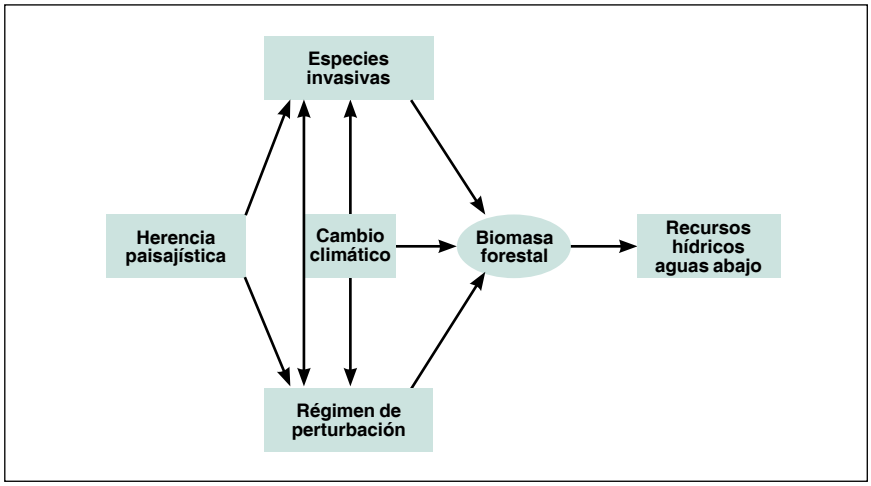
UN ENFOQUE INTEGRADO

Se precisa un enfoque integrado para cuantificar y entender los efectos de los múltiples factores que condicionan la cantidad, los tiempos y la calidad de los recursos hídricos aguas abajo procedentes de las cuencas de captación de montaña. Algunos investigadores han tratado de aislar los efectos en los regímenes de perturbación de los cambios climáticos recientes (por ejemplo, Westerling *et al*., 2006), pero el caso merecería un enfoque más de conjunto, integrado y de más largo plazo. La herencia paisajística puede afectar directamente a la frecuencia de los incendios de bosque y al tamaño y frecuencia de las plagas de patógenos invasivos, que complican el problema (Figura 6). Las plantas, insectos y patógenos invasivos de los bosques pueden a su vez afectar directamente al régimen de perturbación (por ejemplo, las gramíneas invasivas alteran la frecuencia de los incendios; la roya vesicular del pino blanco mata directamente a los árboles). Los cambios y fluctuaciones del clima pueden afectar directamente al régimen de precipitaciones (frecuencia, cantidad y forma) y al almacenamiento hídrico, o pueden afectar indirectamente a la disponibilidad de agua en la medida en que influyen en la composición de las especies y en la frecuencia de los patógenos y plagas autóctonos y no autóctonos o en el régimen de perturbación (la frecuencia o intensidad de los incendios o de los brotes de insectos autóctonos). La continuación del cambio del aprovechamiento de la tierra y de los recursos son factores que se añaden a una herencia paisajística en constante transformación (Stohlgren *et al*., 1998). Un enfoque integrado y una vigilancia acuciosa de los múltiples factores interrelacionados pueden ser el único modo de cuantificar y pronosticar los complejos cambios que se registran en muchas cuencas de captación de montaña.

Los gestores del agua tienen por delante un largo camino por recorrer para configurar una ciencia de los pronósticos. A pesar de las tendencias generales estudiadas en este artículo, los investigadores no han conseguido construir pronósticos y modelos específicos del sitio respecto de los flujos fluviales. Por ejemplo, en 2002 las precipitaciones en Denver, Colorado fueron inferiores al promedio, pero la prensa de aquel tiempo persistía en pronosticar que las sequías iban a continuar y que habría poca agua de escorrentía para los suministros hídricos de la ciudad. Sin embargo, en los años siguientes (comprendido 2007), la escorrentía fue mucho mayor y se situó incluso por encima del promedio a pesar de la tendencia regional de temperaturas más altas (Denver Water, 2007). Los científicos deben pues aún realizar pronósticos precisos de los flujos fluviales con anticipación de meses y estaciones.

Un enfoque integrado, mediante el que se cuantifica la situación presente y las tendencias pasadas, puede combinarse con modelos espaciales y temporales para diseñar hipótesis probables de los cambios futuros en la estructura de los bosques y el suministro de agua. La clave es forjar un dispositivo de «predicción del ecosistema» que combine las tecnologías del sistema de información geográfica con las hipótesis de la climatología y del aprovechamiento de la tierra, al propio tiempo que se previenen y minimizan los efectos dañinos causados por las especies invasivas. ◆

6
Factores múltiples que afectan a la cantidad, tiempos y calidad de los recursos hídricos aguas abajo en las cuencas de montaña



Bibliografía

Denver Water. 2007. *Reservoirs and more. Predicted & actual reservoir supply (three year span)*. Denver, Colorado, EE.UU. Disponible en: www.water.denver.co.gov/indexmain.html

Leung, L.R., Qian, Y., Bian, X.D. y Hunt, A. 2003. Hydroclimate of the western United States based on observations and regional climate simulation of 1981–2000. Part II: Mesoscale ENSO anomalies. *Journal of Climate*, 16: 1912–1928.

Meko, D.M., Woodhouse, C.A., Baisan, C.A., Knight, T., Lukas, J.J., Hughes, M.K. y Salzer, M.W. 2007. Medieval drought in the upper Colorado River Basin. *Geophysical Research Letters*, 34: L10705.

National Interagency Fire Center. 2007. *Fire information – wildland fire statistics*. Documento en Internet. Disponible en: www.nifc.gov/fire_info/fire_stats.htm

Phillips, S.J., Anderson, R.P. y Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231–259.

Pielou, E.C. 1991. *After the ice age: the return of life to glaciated North America*. Chicago, EE.UU., University of Chicago Press.

Spaulding, S.A. y Elwell, L. 2007. *Increase in nuisance blooms and geographic expansion of the freshwater diatom* Didymosphenia geminata*: recommendations for response*. Libro blanco. Denver, EE.UU., United States Environmental Protection Agency Region 8. Disponible en: www.epa.gov/region8/water/didymosphenia

Stewart, I.T., Cayan, D.R. y Dettinger, M.D. 2004. Changes in snowmelt runoff timing in western North America under a 'business as usual' climate change scenario. *Climatic Change*, 62: 217–232.

Stewart, I.T., Cayan, D.R. y Dettinger, M.D. 2005. Changes toward earlier streamflow timing across western North America. *Journal of Climate*, 18: 1136–1155.

Stohlgren, T.J., Chase, T.N., Pielke, R.A., Kittel, T.G.F. y Baron, J. 1998. Evidence that local land use practices influence regional climate and vegetation patterns in adjacent natural areas. *Global Change Biology*, 4: 495–504.

Talmage, E. y Kiviat, E. 2002. *Japanese knotweed and water quality on Batavia Kill in Greene County, New York: background information and literature review*. Report to Greene County Soil and Water Conservation District and New York City Department of Environmental Protection. Disponible en: www.gcswcd.com/stream/knotweed/reports/litreview/JKandwaterquality.pdf

United States Geological Survey (USGS). 2007. *USGS surface-water annual statistics for the nation*. National Water Information System: Web interface. Disponible en: waterdata.usgs.gov/nwis/annual/?referred_module=sw

Veblen, T.T. y Lorenz, D.C. 1991. *The Colorado Front Range: a century of ecological change*. Salt Lake City, EE.UU., University of Utah Press.

Westerling, A.L., Hidalgo, H.G., Cayan, D.R. y Swetnam, T.W. 2006. Warming and earlier spring increase western U.S. forest wildfire activity. *Science*, 313: 940–943. ◆