

## Los bosques frente al cambio climático: ¿la marcha de los *ents*?

Juan Pablo Jaramillo-Correa e Isabelle Gamache

"... and the trees stood black and silent  
immobile in the wind..."  
(Sebastian Ramstedt. Hrimthursum. 2006)

### La migración por cambio climático: un escenario complicado

La secuencia de imágenes parece la de una pesadilla premonitoria y recurrente: el hombre quema grandes cantidades de combustibles fósiles y, así, libera volúmenes enormes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera; esta se transforma en un invernadero que aumenta gradualmente la temperatura del planeta; los bosques se desplazan hacia altitudes (o latitudes) mayores en busca de hábitats similares a los que ocupan hoy en día, y la marcha de los *ents* (hombres-árboles) que describió J.R.R. Tolkien en el Señor de los Anillos se hace realidad.

Pero, ¿qué tan real es esta pesadilla? Muchas de las evidencias empíricas recolectadas durante los últimos cien años indican no sólo que el planeta se está calentando, sino que las especies y los ecosistemas están respondiendo a ese calentamiento. Por ejemplo, los individuos de algunas especies arbóreas que han sobrevivido en forma de arbustos en latitudes nórdicas ahora crecen en forma típica de un árbol; las poblaciones de varias coníferas boreales se han expandido hacia el norte, y los insectos cuyas larvas no sobrevivían el invierno se han convertido en plagas importantes gracias a los climas más benignos de los últimos años. De hecho, de conservarse la tendencia actual, muchos de estos fenómenos se acentuarían durante los próximos 50-100 años, lo que cambiaría sustancialmente la ubicación de los bosques modernos.

Sin embargo, la capacidad de migración de los bosques se ve limitada por otras variables ambientales diferentes a la temperatura. Por ejemplo, no es lo mismo migrar hacia el norte a través de una planicie, como en Siberia, que ha-



Figura 1. Los individuos de algunas especies arbóreas que han sobrevivido en forma de arbustos en latitudes nórdicas ahora crecen en forma típica de un árbol. En el primer plano de la foto se observa un ejemplo de estos "arbustos" que ahora son árboles en el norte de Canadá. Foto I. Gamache.

cerlo hacia arriba de una montaña con una pendiente muy inclinada, como en muchos lugares de México. Si dicha montaña tiene además zonas geológicamente estables y otras inestables, donde los derrumbes y avalanchas son frecuentes, la migración será diferente en ambas partes. Lo mismo puede decirse para otras variables, como el paso recurrente de frentes fríos, la cantidad de radiación solar, los incendios y las presiones antrópicas como la deforestación y el pastoreo.

### Diferentes especies, diferentes respuestas

Por otro lado, muchas de las predicciones sobre la migración de los bosques se basan exclusivamente en el aumento de la temperatura, mientras que el cambio climático supone variaciones mucho más complejas que generarían respuestas difíciles de prever en los árboles forestales. Por ejemplo, en algunos lugares se esperan aumentos importantes en las cantidades de precipitación (lluvia y nieve) que favorecerían a los árboles tolerantes a las inundaciones, mientras



que el incremento de la frecuencia de los eventos extremos, como los huracanes, afectaría mucho más a las especies con raíces superficiales y troncos poco flexibles. Estas variaciones climáticas implicarían no sólo una migración de las especies a hábitats más favorables, sino un cambio radical en la composición de los bosques, ya que algunas especies se verían favorecidas y otras no.

Por otro lado, el ya mencionado incremento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera tendría efectos desconocidos en muchos ecosistemas, lo que agregaría una gran dosis de incertidumbre a nuestras predicciones, asemejándolas peligrosamente a los horóscopos de las revistas del corazón.

En lo que sí parecen coincidir los expertos es en las cuatro opciones que tienen los árboles ante el cambio climático: 1) la ya mencionada migración hacia hábitats favorables, 2) la tolerancia a los cambios, 3) la adaptación a los mismos (en ambos casos las especies se mantienen en el mismo lugar en donde se encuentran actualmente) o bien, 4) la extinción. En todos los casos el resultado será exclusivo para cada especie y para cada ambiente a lo largo del planeta.



Figura 2. Insectos cuyas larvas no sobrevivían el invierno boreal se han convertido en plagas importantes gracias a los climas más benignos de los últimos años. En la foto se observan los destrozos producidos por el escarabajo del pino de montaña (*Dendroctonus ponderosae*) en los bosque de pino del oeste de Norte de América luego de un invierno clemente en 2012. Fuente: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mountain\\_pine\\_beetle\\_damage\\_in\\_Rocky\\_Mountain\\_National\\_Park.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mountain_pine_beetle_damage_in_Rocky_Mountain_National_Park.jpg)



Figura 3. Los incendios y las presiones antrópicas, como la deforestación y el pastoreo, afectan diferencialmente la respuesta de los árboles al cambio climático. En la foto se observan los restos de un incendio forestal al cual han sobrevivido los individuos jóvenes más resistentes. Foto I. Gamache.

### Tolerancia y adaptación

En vista de que muchas especies no son capaces de migrar a velocidades lo suficientemente altas como para siempre estar dentro de sus hábitats más favorables, los científicos se han interesado en entender los procesos de tolerancia y adaptación al cambio climático en las poblaciones actuales de árboles. La tolerancia implica que una especie, sin abandonar su hábitat o condiciones ambientales originales, es capaz de sobrevivir y reproducirse en ambientes muy diferentes a los actuales. Esto lo logra realizando ajustes fisiológicos relativamente sencillos. Es decir, el mismo árbol (literalmente) podría vivir tanto en las condiciones del DF, como en las de Veracruz o las de Coahuila. A este proceso se le conoce como plasticidad fenotípica. Un ejemplo serían algunas especies de Eucalipto, que aunque son originarias de hábitats templados en Australia, toleran muy bien los climas tropicales de Colombia, México o Brasil, hasta incluso convertirse en especies invasoras.

Por otro lado, la adaptación implica cambios en la composición genética de las poblaciones a lo largo del tiempo. Esta es un proceso en el que sólo los individuos que tienen las variantes genéticas adecuadas para responder al ambiente sobreviven y se reproducen; en otras palabras, evolucionan. Por ejemplo, supongamos que tenemos dos árboles que sólo difieren por tener variantes genéticas distintas en un gen que confiere resistencia a las altas temperaturas (en todo lo demás, son iguales): una variante permite sobrevivir a una mayor temperatura



que la otra. En caso de que el lugar en donde habitan estos árboles se vuelva más caliente, sólo aquel que posea la primera variante podrá sobrevivir y reproducirse (ver Figura 4 para un ejemplo real en pinos).

Mucho del interés actual por decodificar el genoma completo de las especies tienen como objetivo encontrar las variantes genéticas que están implicadas en respuestas adaptativas al ambiente y que permitan responder preguntas como estas: ¿cómo cambian las frecuencias de los genes en las poblaciones cuando las temperaturas aumentan, o cuando varían los regímenes de lluvia? ¿Cómo responden a nuevas epidemias de hongos o a insectos más abundantes?, o a otros posibles cambios bióticos y abióticos en el ecosistema. El hecho de saber qué genes están implicados en qué respuestas y cuáles árboles tienen estos genes permitiría iniciar programas de reforestación con individuos pre-adaptados a las condiciones futuras.

**Conservando hacia el futuro**

Sin embargo, los estudios genómicos tienen varias limitantes como su costo y el tiempo que toma analizar los datos, por lo que estas técnicas sólo se pueden utilizar para unas pocas especies. Para las demás, habría que recurrir a estrategias más novedosas (y baratas). Una de las posibilidades que más se ha discutido en los congresos científicos sobre el tema es la de la migración asistida. Esta implica trasplantar árboles (usualmente plántulas) a los lugares en donde los modelos matemáticos predigan que estarían ubicados sus hábitats más favorables dentro de 50-100 años. Si tenemos en cuenta que un árbol vive más o menos ese lapso, habría que empezar a trasplantarlos justo ahora,

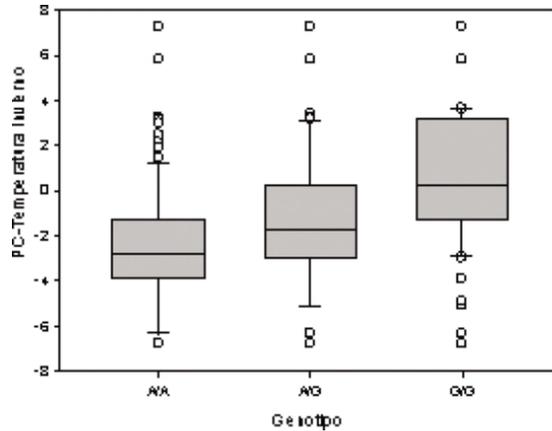


Figura. 4. Variantes genéticas que están implicadas en respuestas adaptativas a ciertas variables ambientales: los árboles con la variante G/G son más tolerantes a las altas temperaturas que aquellos con las variantes A/G o A/A. (Jaramillo-C *et al.* Datos sin publicar).

para que tengan tiempo de adaptarse *in situ* a las nuevas condiciones. En México ya hay unas pocas iniciativas de este tipo, pero todavía es muy temprano para saber si han tenido éxito.

Ahora bien, el problema con la migración asistida es que esta nos lleva de vuelta a las predicciones y casi, a los horóscopos: si no somos capaces de mejorar nuestros modelos predictivos e incluir las variables que más ayuden a entender mejor qué es lo que afecta la supervivencia de los árboles, nunca sabremos donde trasplantarlos; será como tirar a un blanco a ciegas. Por lo tanto, sólo si mejoramos nuestras capacidades predictivas podremos tener éxito en este “pastoreo de árboles” que podría salvar a nuestros bosques. Recordemos que en la mitología de Tolkien el trabajo de los ents es justamente ese: ser pastores de los árboles que velan por el bienestar de los bosques. La marcha de los ents es en realidad nuestra propia marcha.

**Para saber más**

- Aitken, S., *et al.* 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications*, 1: 95-111.
- IPCC. 2007. *Climate change. The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds S. Solomon, D. Qin & D. Manning), Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Kremer, A., *et al.* 2012. Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change. *Ecology Letters*, 15: 378-392.



A decorative frame consisting of a teal border with rounded corners and an orange inner border. Two teal rectangular boxes are attached to the frame: one at the top-left and one at the bottom-right.

Dr. Juan Pablo Jaramillo-Correa es investigador del Laboratorio de Genética y Ecología del Departamento de Ecología Evolutiva del Instituto de Ecología, UNAM. Estudia las respuestas evolutivas y adaptativas de los árboles forestales utilizando herramientas moleculares

A decorative frame consisting of a teal border with rounded corners and an orange inner border. Two orange rectangular boxes are attached to the frame: one at the top-right and one at the bottom-left.

Dra. Isabelle Gamache es ecóloga forestal y del cambio climático de la Université Laval (Canadá). Trabajó como analista científica en biotecnología del Servicio Forestal Canadienses. Actualmente se desempeña en México como editora y traductora de textos especializados.

