

Deterioro de los bosques de Canadá por contaminación del aire

PILAR CERECEDA TRONCOSO

Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile

ROBERT S. SCHEMENAUER

Atmospheric Environment Service, Toronto, Canadá

RESUMEN

El trabajo que a continuación se presenta tiene por objetivo entregar antecedentes sobre el problema de deterioro forestal por acción de contaminantes originados en zonas urbanas. Hace énfasis en la situación canadiense, analizando en forma especial el proyecto sobre Química de las Neblinas en Elevaciones Mayores, donde se ha estado midiendo una serie de parámetros meteorológicos, y en forma especial las neblinas ácidas y el ozono.

SUMMARY

This paper discusses the role of air pollution in the dieback of forests in the northern hemisphere. Its emphasis is on the situation in Canada and the Canadian Chemistry of High Elevation Fog project. Topics to be discussed are the extent of the dieback and its consequences and possible causes as well as the field measurements that are being made at the present time.

INTRODUCCION

Este documento se refiere al problema de deterioro de bosques en el hemisferio norte; intenta entregar antecedentes sobre sus causas, la extensión del fenómeno, la descripción de los principales proyectos relacionados con el tema y, en forma especial, el estudio de Química de las Neblinas en Elevaciones mayores (CHEF Project) que se lleva a efecto en Canadá.

El problema de daño forestal en el mundo no es nuevo en sí; ya en 1930 en Alemania se constataba un debilitamiento de las especies forestales sin una causa aparente (Blank, 1985). En la década de 1970 se comienzan estudios e investigaciones sistemáticos, y en la década actual se visualizan las causas en función de la polución atmosférica, en especial con relación a la acidificación de las aguas de lluvia y otros gases tóxicos como el ozono, SO₂ y NO_x. A partir de 1982, se inician estudios en relación a las neblinas ácidas, por considerarse que éstas son más perjudiciales que las aguas pluviales.

ANTECEDENTES

El primer país que da la voz de alerta sobre el deterioro forestal fue Alemania. Blank (1986) dice

que el área total de la República Federal Alemana es de 244.000 km²; aproximadamente el 30% de esa área está cubierta por bosques. Se ha realizado un inventario del daño de los árboles en todo el país y se ha llegado a las siguientes conclusiones: en 1982 la declinación de bosques llegaba a un 8%; en 1983 aumentó al 34% y en 1984 llegó a la dramática cifra del 50%, es decir, la mitad de la superficie boscosa tiene sus árboles muertos o con síntomas de enfermedad. Las coníferas muestran mayor deterioro, pero también hay daño en especies del bosque deceduo.

Ashmore, Bell y Rutter (1985) también entregan una cifra interesante sobre el problema alemán; ellos exponen que en el área de Baden-Württemberg la proporción de árboles sanos era en 1980 de 67% y de 100% para el ciprés (*Picea abies*). Ambos sufrieron una declinación tal, que el año 1983 no se encontraba ningún árbol de esa área que no presentara síntomas de enfermedad.

Livingston (1982) escribe en la publicación del Canadian Forest Industry que el deterioro o disminución del crecimiento de los cipreses alemanes alcanza a un 70%; expone también que el problema es extensivo a Francia, Suiza, Yugoslavia, Checoslovaquia, Polonia y Suecia.

En América del Norte el problema es similar y Estados Unidos y Canadá han comenzado a sufrir estragos parecidos. Existen antecedentes interesan-

tes con respecto al primer país mencionado, los que se refieren principalmente a sitios de muestreo, por ejemplo, en los Montes Apalaches, en Vermont, Nueva Hampshire, Massachusetts y Pennsylvania.

La "Office of Technology Assessment" del Congreso de Estados Unidos está especialmente preocupada por los problemas de contaminación y ha publicado lo siguiente: alrededor del 90% del deterioro de las cosechas debido a contaminación se debe a los efectos del ozono. Sus estudios estiman que si los niveles de ozono se redujeran a su nivel natural, es decir, sin contaminación industrial, el rendimiento en las cosechas de maíz subiría en un 2%, el trigo en 5%, el poroto soya en más del 13%. Se calcula que la productividad total de la agricultura se reduce por causa del ozono solamente en un 6 ó 7%.

Vogelmann (1982) describió el colapso del bosque en Camels Hump en Vermont, exponiendo que casi el 50% de los cipreses existentes en 1965 han muerto o han disminuido su producción de semillas en un 50%.

Canadá está especialmente preocupada por las implicancias económicas que este flagelo le pueda acarrear. El año 1981 la industria forestal contribuyó a la economía nacional en 22 mil millones de dólares. Es obviamente el recurso singular más importante de exportación de ese país; por ello una pequeña reducción en el rendimiento de la producción forestal tendría enormes ramificaciones económicas. Sólo en la provincia de Quebec hay 600.000 km² de bosque boreal vulnerable. A modo de comparación, cabe recordar que la superficie de Chile continental es de 750.000 km² y que está ocupada por bosques en un 10% de su territorio.

La industria de azúcar de arce (*Acer saccharum*) de Norteamérica tiene ventas anuales del orden de los 75 millones de dólares; la provincia de Quebec contribuye con 40 millones de dólares cada año. Aquí se produce el 90% del sirope (miel) de azúcar del país y representa el 75% del total mundial. Estudios en esta área revelan cifras de daño que oscilan entre 12 y 37% en las distintas asociaciones boscosas y afecta aproximadamente a 9.000 productores de sirope.

CAUSAS DEL DETERIORO FORESTAL

Uno de los problemas más difíciles abordados en los estudios que demuestran el deterioro forestal es el establecimiento de las causas que producen la enfermedad en los árboles.

Se puede decir que hasta el día de hoy existe controversia sobre los agentes que la producen; pero que es difícil desmentir una primera premisa:

la causa hay que buscarla en la contaminación producida por las grandes ciudades industriales.

La mayoría de los estudios realizados en la década de 1970 comenzaron por buscar las causas en antecedentes climáticos y en enfermedades tradicionales como son las plagas por insectos u hongos; incluso se estudió el problema desde el punto de vista de la sobreexplotación, como fue el caso del acer de azúcar.

También se han buscado causas de orden ecológico, como es la posibilidad de cambios cíclicos en las asociaciones vegetacionales, pero dicha hipótesis es difícil de avalar, por cuanto una de las características del fenómeno es la rapidez con que se desarrolla el deterioro. Cabe citar aquí, a modo de ejemplo, un productor canadiense de sirope que cuenta que todo comenzó hace ocho años, cuando sus árboles mostraron síntomas de enfermedad; hoy día le restan la mitad de ellos y la mayor parte de esta mortandad se produjo en las dos últimas primaveras. En general, los cambios ecológicos de tipo natural se producen en plazos considerablemente más extensos.

Lo que sí es un hecho es que anomalías climáticas suelen iniciar o aumentar los estragos que ella produce. Por ejemplo, en el caso de Quebec, importantes síntomas se comenzaron a ver después de dos inviernos muy benignos, es decir la temperatura no fue lo suficientemente fría para producir las condiciones para la posterior producción forestal. En el caso de Quebec, además se sumó una fuerte anomalía en la cantidad de nieve caída durante los años 1982 y 1983, época de recrudecimiento del problema.

La discusión de las causas y de los agentes que producen el fenómeno todavía continúa; y en el presente hay una gran variedad de expertos en distintas materias preocupados por estudiar este flagelo. La investigación se lleva a cabo en universidades, organismos públicos e incluso se contratan a cargo de asociaciones de productores.

En todo caso, se repiten con frecuencia tres agentes principales: lluvias ácidas, neblinas ácidas y ozono, todos derivados de la polución ambiental.

El término lluvias ácidas es bastante conocido en la actualidad y sus características e implicancias específicas están siendo estudiadas con rigurosidad en el hemisferio norte.

Grosso modo, se puede definir lluvias y neblinas ácidas como precipitaciones que presentan bajo nivel en el pH del agua caída. Se produce por la emisión de dióxido de sulfuro y de nitrógeno proveniente de la quema de combustibles fósiles e incorporados a la atmósfera; allí son fotooxidados por la luz solar y al combinarse con el agua se transforman en ácidos sulfúricos y nítricos.

Cuando las precipitaciones ácidas caen en los árboles, lixivian los nutrientes como el potasio,

azúcares, proteínas y aminoácidos, vitales para el desarrollo vegetal. Exposiciones prolongadas lavan la capa que protege la hoja de la deshidratación y es fácilmente atacada por bacterias y hongos.

En los casos que las aguas de lluvias y neblinas ácidas se incorporan al sustrato, éstas bajan el pH del suelo; así, los iones de aluminio del suelo pueden ser movilizados y afectan el sistema de raíces de las plantas. Esto es altamente tóxico para la vida del árbol debido a que al alterar la entrada de agua por las raíces más jóvenes, la provisión del líquido a la planta se reduce y puede provocar eventualmente la muerte por sequía o por desnutrición.

La acidez en el suelo mata los hongos y las bacterias y microorganismos necesarios para la descomposición de la materia orgánica y comienzan a apilarse ramas y hojas secas en el suelo del bosque que no produce los efectos de reciclaje propio del ecosistema natural.

Algunas teorías indican que es posible que las depositaciones ácidas estén reduciendo la disponibilidad de nutrientes esenciales como el calcio y el magnesio en el suelo.

Consecuencias similares traen las altas concentraciones de ozono en la atmósfera. Los niveles de ozono se elevan a través de las interacciones químicas entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos. Hay numerosas reacciones químicas en la atmósfera que hoy se estudian y que todavía no se dilucidan por completo, pero es un hecho que la mayor concentración de ozono en la baja troposfera se debe a la polución industrial. Este gas actúa en la atmósfera y se moviliza a merced de los vientos y produce sus efectos sin necesidad de ser depositado en forma húmeda o entrar en contacto con el agua, sino que sus consecuencias se manifiestan igualmente en forma de depositación seca.

Concentraciones moderadamente altas de ozono (50-100 ppb) han sido estudiadas en laboratorio y terreno, demostrándose que tienen efectos negativos en el crecimiento de los árboles debido a la reducción de la tasa neta de fotosíntesis. Concentraciones muy altas pueden causar también daño foliar en algunas especies vegetales y por lo tanto reducen el nivel energético de la planta.

PROYECTOS DE INVESTIGACION CIENTIFICA

Numerosas investigaciones se llevan a cabo en la actualidad en Estados Unidos y Canadá. En este último país se está desarrollando el proyecto "Chemistry of High Elevation Fog" (CHEF) a cargo del Departamento de Física de Nubes del Servicio Atmosférico Ambiental, perteneciente al

Ministerio del Medio Ambiente, y está concebido por al menos 5 años a partir del año de su iniciación, 1985. En principio se espera realizar mediciones sistemáticas y continuadas para poder comprender el problema de las neblinas ácidas y también de la composición química de la atmósfera.

El proyecto CHEF está muy vinculado al proyecto Mountain Cloud Chemistry (MCCP) de Estados Unidos. Sus objetivos son muy similares al estudio canadiense y consisten básicamente en proveer información meteorológica y de química del aire para estudiar los efectos de las depositaciones atmosféricas en bosques de mayores altitudes en la parte este de Norteamérica. Otro objetivo es el de monitorear gases seleccionados y polutantes del aire y sus concentraciones en el agua de las nubes. Algunos resultados preliminares de CHEF han sido descritos en Schemenauer (1986) y Schemenauer *et al.* (1987).

Desde el punto de vista geográfico, uno de los trabajos de investigación interesante es el que se lleva a cabo en el Servicio de la Investigación Aplicada del Ministerio de Energía y de los Recursos en la provincia de Quebec. Este proyecto, dirigido por Mr. Gilles Gagnon, tiene como objetivo principal evaluar el daño de los bosques en la provincia, desde el punto de vista de su extensión, y por ser un estudio fitoecológico mide también variables ecológicas, como son la calidad del suelo, drenaje, topografía y depósitos de superficie. El inventario del deterioro forestal se hizo en base a recorridos aéreos e interpretación visual; los resultados han sido llevados a una cartografía regional, a escala 1:250.000. El análisis de variables ecológicas se ha hecho en base a sitios de muestreo en parcelas previamente definidas y monitoreadas anualmente. Este trabajo se inició el año 1983 y ya tiene algunos resultados publicados. Durante los años 1986/87 se ha llevado a cabo un estudio estadístico de análisis multivariado de los aspectos mencionados con el fin de encontrar el peso de cada una de dichas variables en el problema.

EL PROYECTO CHEF

Uno de los aspectos que se han podido establecer en los últimos años es que hay mayor deterioro en las coníferas (especialmente en Europa) que en el bosque decíduo. En un principio podría parecer que la razón estuviera en los aspectos biológicos de la planta, es decir que fuera más vulnerable que las especies propias del bosque de hoja caduca; pero más tarde se ha detectado que es probable que la causa principal radique en que la mayor mortandad se dé en alguna medida en relación con la altitud del área boscosa y la neblina.

Dado que la altitud de los cordones montañosos donde se presenta el deterioro no es muy elevada, las diferencias de agua caída por lluvias no son tan notables entre base y cima, de manera que si se busca causalidad por lluvias ácidas, las conclusiones no son muy evidentes. En cambio, si se analizan los montos de agua recibida por lluvias y neblinas tanto en las partes más bajas como en las cumbres, se encuentra una diferencia notable en las cantidades registradas, siendo varias veces mayor la cantidad en la cima de las montañas. A modo de ejemplo, se puede citar el hecho de que en un sector muestreado en Quebec la cima de la montaña (976 m) recibe 50% más precipitación que el valle (250 m). Por lo tanto, si la causa de deterioro hay que buscarla en el efecto combinado de polutantes y depositación de ellos por precipitación, es obvio que el tema de cantidad y calidad de agua interceptada por los árboles es de vital importancia.

Es por esta razón que los lugares elegidos para llevar a cabo el proyecto que se analiza se encuentran en zonas montañosas de la provincia de Quebec, donde se ha establecido que sufre, comparativamente, con mayor violencia la declinación de los recursos forestales. Las altitudes de las montañas son del orden de los 970 m, y en general las formaciones boscosas se estratifican según altitud, estando en las partes bajas las especies propias del bosque la hoja caduca, como son el arce (*Acer saccharum*), el fresno (*Fraxinus nigra*), el abedul (*Betula alleghaniensis*), el olmo (*Ulmus americana L.*) y el tilo (*Tilia americana L.*). Sobre los 750 m comienza a aparecer un bosque mixto, para terminar a alturas superiores con bosque puro de coníferas.

A la fecha se han operado tres estaciones de medición en distintos sectores; las más importantes se encuentran en Mt. Tremblant (46°13'N, 74°33'W) y en Roundtop Mtn. (45°05'N, 72°33'W). En ambos se encuentran casetas provistas de instrumentos para medir dirección y fuerza de vientos, temperatura, humedad relativa, presión, radiación solar y agua precipitada tanto de lluvia como de neblina. El agua caída se colecta y se somete a análisis químico para determinar su pH y conductividad y algunos componentes: NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Ca^{++} , Mg^{++} . También se lleva un registro ocular diario de la cobertura de nubes en distintas altitudes. El ozono se registra en forma continua en todos los lugares. En 1981 se comenzaron mediciones de hidrógeno, peróxido del aire y agua. Próximamente se harán mediciones continuadas de NO_2 y SO_2 . Además, en el otoño de 1987 se hará un muestreo extensivo para análisis químico foliar y edáfico en los sitios CHEF.

Durante el verano de 1986 se realizó una pequeña aproximación geográfica a través de un

estudio realizado en Roundtop Mtn. con el fin de conocer las posibles implicancias que podrían tener algunos rasgos topográficos y morfológicos en el problema. El trabajo se hizo en base a cartografía, utilizando el mapa de deterioro elaborado por Gagnon en el área. Las variables analizadas fueron la altitud, la pendiente, la red de drenaje, la exposición de laderas y las formas del relieve. Se intentó encontrar relación directa o indirecta entre los ítems cartografiados y los niveles de enfermedad en los distintos sectores de la montaña.

Aunque la investigación debe continuar por algunos años, se ha encontrado ya una correlación entre precipitación y altitud; también se puede decir en una primera instancia que los rasgos topográficos tienen una influencia importante, por cuanto canalizan el flujo de aire; la exposición de laderas también muestra interés, por cuanto enfrenta los vientos dominantes y/o polutantes, o la radiación solar que es decisiva en los efectos del ozono. Pero, obviamente, la corroboración de estas relaciones deberá ser medida y registrada en forma sistemática, para poder concluir de manera definitiva. Todas estas experimentaciones se pueden relacionar con los parámetros meteorológicos durante los años de medición.

CONCLUSION

En esta oportunidad se han expuesto antecedentes sobre el fenómeno de declinación forestal y sus probables causas, así como los estudios que a la fecha se realizan en algunas instituciones canadienses. Esta materia no ha sido considerada en la Geografía chilena, ya que no es un problema que aparentemente afecta al país; pero cabe hacerse la pregunta si está ajeno a él del todo.

Lo que sí es importante es que en Chile se ha llevado a cabo un buen número de investigaciones con respecto a las neblinas y se tiene una experiencia de más de 30 años, pero en general se han circunscrito al área litoral de las regiones septentrionales del país.

La alta tecnología y la puesta en práctica de metodologías para enfrentar el análisis de la dinámica de la nube es en los países del hemisferio norte notable y, por lo mismo, es necesario el intercambio de experiencias sobre el tema.

Una muestra de dicho intercambio es la firma de un convenio entre organismos canadienses e instituciones chilenas para el estudio de factibilidad de abastecimiento de agua potable a un pueblo de la IV Región con agua de camanchaca. En ese proyecto se instalarán 2 colectores de neblinas iguales a los del proyecto CHEF y se harán análisis químicos de sus aguas. Asimismo, se incorporará una serie de técnicas y el uso de los instru-

mentos más modernos de dicho país en la problemática chilena.

BIBLIOGRAFIA

- ASHMORE, M., N. BELL and J. RUTTER, 1985: The role of ozone in forest damage in West Germany. *Ambio*, 14, 81-87.
- BLANK, L.W., 1985: A new type of forest decline in Germany. *Nature*, 311-314.
- GAGNON, G., G. ROY, C. GRAVEL, J. GAGNE. 1986: Etat des recherches sur le dépérissement au Ministère de l'Énergie et des Ressources. Journée d'information sur l'acériculture. Quebec.
- LIVINGSTON, M., 1982: The industrial plague. *Canadian Forest Industry*, June, 14-18.
- SCHEMENAUER, R.S., 1986: Acidic deposition to forests: The 1985 Chemistry of High Elevation Fog (CHEF) project. *Atmos. Ocean*, 24, 303-328.
- SCHEMENAUER, R.S. P.H. SCHUEPP, S. KERMASHA, P. CERECEDA, 1987: Measurements of the properties of high elevation fog in Quebec, Canada. Accepted, NATO Advanced Research Workshop on Acid Deposition to High Elevation Sites, Edinburgh, Sept. 8-12, 1986. D. Reidel Publ.
- VOGELMANN, H.W., 1982: Catastrophe on Camels Hump. *Natural History*, 91, 8-14.